প্রযুক্তি সম্পর্কীয় ভূবিদ্যা

(Engineering Geology)

শ্রীপতাকী কৃষ্ণ চট্টোপাধ্যায়, এম্. এস. সি., পি. আর. এস্.

ডেপুটি ডিরেক্টর জেনারল (অবসর প্রাপ্ত)

জিওলজিক্যাল সার্ভে অফ ইণ্ডিয়া

কলিকাতা

ভূমিকা

ভূবিদ্যার চর্চা বহু পুরাকাল হতে প্রচলিত থাকলেও প্রযুক্তি সম্পর্কীয় ভূবিদ্যার অর্থাৎ কারিগরী ভূবিদ্যার (Engineering Geology) পৃথক অনুশীলন ও ব্যবহারিক জীবনে প্রয়োগ মাত্র কয়েক দশক আগে আরম্ভ হয়েছে। বস্তুত:পক্ষে California-র (U.S.A.) St. Francis Dam-টি 1928 খ্রীষ্টাব্দের 12th March ধ্বংসপ্রাপ্ত হওয়ার পর বাস্তুবিদগণ (Civil Engineers) বিশেষভাবে উপলব্ধি করেন যে ভারী গঠনগুলির ভবিষ্যৎ নিরাপত্তা কেবলমাত্র উহাদের উপযুক্ত আলেখনের (Design) এবং গাঁথনির উপর নির্ভর করে না। পরন্তু গঠনগুলির স্থানের পারিপার্শ্বিক প্রাকৃতিক অবস্থা যথা ভূতাত্ত্বিক-বৈশিষ্ট্য, বিশেষত: উহাদের নির্মাণ স্থানের স্থিতিশীলতা, ভিত্তিস্থানের উপর ভূজলের প্রভাব, ভূকম্পনের গণ্ডিসীমা ইত্যাদি কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ বিষয়ের মূল্যায়ন করা অতিশয় প্রয়োজন। এই ঘটনার পর হতে ইউরোপ ও আমেরিকায় কারিগরী ভূবিদ্যার চর্চা জোরদার হয় এবং বাঁধ, সুড়ঙ্গ, সেতু, রেলপথ, বৃহদাকার অট্টালিকা ও ভারী কারখানা গৃহ (Heavy engineering structures) ইত্যাদির নির্মাণের স্থান নির্ণয়ে এবং ভূস্খলন প্রতিরোধকল্পে ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের উপদেশ ও মতামত বিশেষ প্রভাব বিস্তার করে। এই উপলক্ষে ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানের ব্যয়মাত্রা উপরোক্ত গঠনগুলির নির্মাণ ব্যয়ের তুলনায় এতই কম যে ঐ সকল গঠনগুলির ভবিষ্যৎ নিরাপত্তার বিষয়ে সুনিশ্চিত হওয়ার জন্য ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানে ব্যয়নির্বাহ খুবই সমীচীন বলে গণ্য হয়। বর্তমানে এই ধারণার বশবর্তী হয়ে পৃথিবীর সকল দেশেই কারিগরী ভূবিদ্যার বাস্তবক্ষেত্রে প্রয়োগ খুবই বৃদ্ধি পেয়েছে।

এছাড়া কারিগরী গঠনগুলির নির্মাণে উপযুক্ত মানের প্রাকৃতিক উপাদানসমূহ যথা—শিলা, বালি, পলিমাটি, মৃত্তিকা ইত্যাদি বহুল পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। কিন্তু সকল প্রকারের শিলাখণ্ডই বা অন্যান্য উপাদানগুলি নির্মাণকার্যের উপযুক্ত হয় না এবং যেগুলি উপযুক্ত বলে বিবেচিত হয়, সেগুলির পর্যাপ্ত পরিমাণে এবং পরিমিত ব্যয়ে সহজপ্রাপ্যতার উপর গঠন পরিকল্পনা বিশেষভাবে নির্ভরশীল। এই সকল ব্যাপারের অনুসন্ধান

কারিগরী ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের অবদান খুবই গুরুত্বপূর্ণ, কারণ মূলতঃ তিনি একজন ভূতত্ত্ববিদ্ এবং গঠনকার্যের জন্য নির্দেশিত স্থানের শিলাবিন্যাসে তাঁহার মূল ভূতাত্ত্বিক জ্ঞানের ব্যবহার বিশেষ সহায়ক হয়। যদিও ভূবিজ্ঞানের অন্তর্গত সকল বিষয়গুলিই কারিগরী ভূবিদ্যার অধ্যয়নে স্থান পায় না, তবে ভূজলবিজ্ঞান (Geohydrology) এই অধ্যয়নের একটি অন্যতম বিষয় এবং ভূজলজনিত বিপত্তির দূরীকরণে বাস্তুবিদ্‌গণ কারিগরী ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের সাহায্য গ্রহণ করেন।

আমাদের দেশে বিগত শতাব্দীর দ্বিতীয়ার্দ্ধের প্রারম্ভ হতে এবং স্বাধীনতালাভের আগে অবধি বেশ কয়েকটি কারিগরী পরিকল্পনার ব্যাপারে জিওলজিকাল সার্ভে অফ ইণ্ডিয়ার ভূ-বৈজ্ঞানিক সাহায্য লওয়া হয়। বিগত দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের পরবর্তীকাল হতে, বিশেষতঃ দেশ স্বাধীনতা লাভের সাথে সাথে অনেকগুলি কারিগরী পরিকল্পনা যথা বন্যানিয়ন্ত্রণ, জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন, ভূজলের পরিমাণ নিরূপণ ও সেচ ইত্যাদি, কার্যে পরিণত করা হয়েছে এবং এগুলির ভূ-বৈজ্ঞানিক সমীক্ষা জিওলজিকাল সার্ভে অফ ইণ্ডিয়া করেছে। এই সকল সমীক্ষার কাজে পারদর্শিতা লাভের জন্য কারিগরী ভূবিদ্যার অধ্যয়ন ক্রমশঃ গুরুত্বলাভ করে। ইঞ্জিনীয়ারিং কলেজের পাঠ্যসূচীতে প্রাথমিক পর্যায়ের ভূবিদ্যা পঠনের ব্যবস্থা এদেশে বহুদিন হতে প্রচলিত আছে। কিন্তু উপরোক্ত কারিগরী পরিকল্পনাসমূহের প্রয়োজনে এই ভূবিদ্যার জ্ঞান যথেষ্ট বলে বিবেচিত হয়নি। এদিকে দেশের বিশ্ববিদ্যালয়সমূহের ভূবিদ্যার অনার্স (Honours) কোর্সেও কারিগরী ভূবিদ্যা বিষয়টির পৃথক অধ্যয়নের উপর বিশেষ জোর দেওয়া হয় না। স্নাতকোত্তর (Post-Graduate) কোর্সের বিশেষ পাঠ্যসূচীতে এই বিষয়টি বর্তমান শতাব্দীর পাঁচের দশক হতে কিছুটা স্থান পেয়েছে এবং ভূবিদ্যার একটি পৃথক শাখা হিসেবে কারিগরী ভূবিদ্যা ক্রমশঃ ছাত্র জগতে জনপ্রিয়তা লাভ করছে।

বাংলাভাষায় প্রযুক্তি সম্পর্কীয় ভূবিদ্যা (কারিগরী ভবিদ্যা) বিষয়ে লেখা বই এই প্রথম। এই বিষয়টিতে ভূবিজ্ঞান এবং বাস্তুবিদ্যাজনিত বৈজ্ঞানিক শব্দগুলির পৌনঃপুনিক ব্যবহার অপরিহার্য, কিন্তু অল্পসংখ্যক ক্ষেত্রেই ঐগুলির বাংলা প্রতিশব্দ আছে। সুতরাং এই বইটি লেখার চেষ্টায় আমাদের অন্যতম একটি অন্তরায় হয়ে দাঁড়ায়। এই ব্যাপারে স্বর্গীয় রাজশেখর বসু মহাশয়ের "চলন্তিকা" অভিধান এবং আমার অগ্রজ ও সহকর্মী শ্রীগোপেন্দ্রনাথ দত্তের "ভূবৈজ্ঞানিক পরিভাষা" নামক

গ্রন্থ দুটি হতে যথেষ্ট সাহায্য পেয়েছি। তবে বেশ কয়েকটি ক্ষেত্রে ইংরাজী শব্দগুলি বাংলা অক্ষরে লিখতে বাধ্য হয়েছি।

আমার সুদীর্ঘ কর্মজীবনের বেশ কিছুটা সময় কারিগরী ভূবিদ্যার বাস্তবক্ষেত্রে ব্যবহারকয়ে অতিবাহিত হয়েছে এবং এই কাজে যে ব্যক্তিগত অভিজ্ঞতা লাভ করেছি তাহাই এই বইটিতে লিপিবদ্ধ হয়েছে। বইটি লেখার প্রারম্ভ হতেই আমার বাসনা ছিল যে এটিকে বিজ্ঞান বিষয়ে লেখা বইগুলির ন্যায় দুর্বোধ্য ভাষায় না লিখে অতি সহজ গল্প বলার ছলে সাধারণের কাছে তুলে ধরব, অথচ সে কারণে বইটির মান যেন হ্রাস না পায়। জানিনা এই সঙ্কল্পে কতটা সার্থক হতে পেরেছি। তাছাড়া কোনও কোনও বর্ণিত বিষয়ে মতানৈক্য বা ত্রুটি থাকতে পারে। এ সম্বন্ধে পাঠকের অভিমতের অপেক্ষায় রহিলাম। ইতি—

গ্রন্থকার

কারিগরী ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের অবদান খুবই গুরুত্বপূর্ণ, কারণ মূলতঃ তিনি একজন ভূতত্ত্ববিদ্‌ এবং গঠনকার্যের জন্য নির্দেশিত স্থানের শিলাবিন্যাসে তাঁহার মূল ভূতাত্ত্বিক জ্ঞানের ব্যবহার বিশেষ সহায়ক হয়। যদিও ভূবিজ্ঞানের অন্তর্গত সকল বিষয়গুলিই কারিগরী ভূবিদ্যার অধ্যয়নে স্থান পায় না, তবে ভূজলবিজ্ঞান (Geohydrology) এই অধ্যয়নের একটি অন্যতম বিষয় এবং ভূজলজনিত বিপত্তির দূরীকরণে বাস্তবিদ্‌গণ কারিগরী ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের সাহায্য গ্রহণ করেন।

আমাদের দেশে বিগত শতাব্দীর দ্বিতীয়ার্দ্ধের প্রারম্ভ হতে এবং স্বাধীনতালাভের আগে অবধি বেশ কয়েকটি কারিগরী পরিকল্পনার ব্যাপারে জিওলজিকাল সার্ভে অফ ইণ্ডিয়ার ভূ-বৈজ্ঞানিক সাহায্য লওয়া হয়। বিগত দ্বিতীয় মহাযুদ্ধের পরবর্তীকাল হতে, বিশেষতঃ দেশ স্বাধীনতা লাভের সাথে সাথে অনেকগুলি কারিগরী পরিকল্পনা যথা বন্যানিয়ন্ত্রণ, জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন, ভূজলের পরিমাণ নিরূপণ ও সেচ ইত্যাদি, কার্যে পরিণত করা হয়েছে এবং এগুলির ভূ-বৈজ্ঞানিক সমীক্ষা জিওলজিকাল সার্ভে অফ ইণ্ডিয়া করেছে। এই সকল সমীক্ষার কাজে পারদর্শিতা লাভের জন্য কারিগরী ভূবিদ্যার অধ্যয়ন ক্রমশঃ গুরুত্বলাভ করে। ইঞ্জিনীয়ারিং কলেজের পাঠ্যসূচীতে প্রাথমিক পর্যায়ের ভূবিদ্যা পঠনের ব্যবস্থা এদেশে বহুদিন হতে প্রচলিত আছে। কিন্তু উপরোক্ত কারিগরী পরিকল্পনাসমূহের প্রয়োজনে এই ভূবিদ্যার জ্ঞান যথেষ্ট বলে বিবেচিত হয়নি। এদিকে দেশের বিশ্ববিদ্যালয়সমূহের ভূবিদ্যার অনার্স (Honours) কোর্সেও কারিগরী ভূবিদ্যা বিষয়টির পৃথক অধ্যয়নের উপর বিশেষ জোর দেওয়া হয় না। স্নাতকোত্তর (Post-Graduate) কোর্সের বিশেষ পাঠ্যসূচীতে এই বিষয়টি বর্তমান শতাব্দীর পাঁচের দশক হতে কিছুটা স্থান পেয়েছে এবং ভূবিদ্যার একটি পৃথক শাখা হিসেবে কারিগরী ভূবিদ্যা ক্রমশঃ ছাত্র জগতে জনপ্রিয়তা লাভ করছে।

বাংলাভাষায় প্রযুক্তি সম্পর্কীয় ভূবিদ্যা (কারিগরী ভবিদ্যা) বিষয়ে লেখা বই এই প্রথম। এই বিষয়টিতে ভূবিজ্ঞান এবং বাস্তবিদ্যাজনিত বৈজ্ঞানিক শব্দগুলির পৌনঃপুনিক ব্যবহার অপরিহার্য, কিন্তু অল্পসংখ্যক ক্ষেত্রেই ঐগুলির বাংলা প্রতিশব্দ আছে। সুতরাং এই বইটি লেখার চেষ্টায় ভাষাজ্ঞান অন্যতম একটি অন্তরায় হয়ে দাঁড়ায়। এই ব্যাপারে স্বর্গীয় রাজশেখর বসু মহাশয়ের "চলন্তিকা" অভিধান এবং আমার সুহৃদ ও সহকর্মী শ্রীগোপেন্দ্রনাথ দত্তের "ভূবৈজ্ঞানিক পরিভাষা" নামক

গ্রন্থ সূচি হতে যথেষ্ট সাহায্য পেয়েছি। তবে বেশ কয়েকটি ক্ষেত্রে ইংরাজী শব্দগুলি বাংলা অক্ষরে লিখতে বাধ্য হয়েছি।

আমার সুদীর্ঘ কর্মজীবনের বেশ কিছুটা সময় কারিগরী ভূবিদ্যার বাস্তবক্ষেত্রে ব্যবহারকল্পে অতিবাহিত হয়েছে এবং এই কাজে যে ব্যক্তিগত অভিজ্ঞতা লাভ করেছি তাহাই এই বইটিতে লিপিবদ্ধ হয়েছে। বইটি লেখার প্রারম্ভ হতেই আমার বাসনা ছিল যে এটিকে বিজ্ঞান বিষয়ে লেখা বইগুলির ন্যায় দুর্বোধ্য ভাষায় না লিখে অতি সহজ গল্প বলার ছলে সাধারণের কাছে তুলে ধরব, অথচ সে কারণে বইটির মান যেন হ্রাস না পায়। জানিনা এই সঙ্কল্পে কতটা সার্থক হতে পেরেছি। তাছাড়া কোনও কোনও বর্ণিত বিষয়ে মতানৈক্য বা ত্রুটি থাকতে পারে। এ সম্বন্ধে পাঠকের অভিমতের অপেক্ষায় রহিলাম। ইতি—

গ্রন্থকার

SYNOPSIS

This book on 'Engineering Geology' deals mainly with the application of geological knowledge in solving the construction as well as the stabilisation problems faced by the civil engineers in building different types of heavy engineering structures, dams, tunnels, bridges, hill roads, railways, airports and buildings in regions frequented by landslides and earthquakes. Besides, the subject of 'Geohydrology' has also been dealt with for the important role that it plays in the matter of many engineering constructions with particular reference to the environmental conditions of the surrounding ground, and involving deep foundations.

The treatise is divided into fourteen chapters, of which the first one discusses how the subject of engineering geology is solely dependant on the studies of different branches of geology. The second and the third chapters respectively deal with different types of engineering structures requiring geological investigation and the items to be investigated. The subject of underground geological investigation by excavation, drilling and geophysical methods has been described in the fourth chapter whereas the fifth chapter deals exhaustively with the role of groundwater in the development of irrigation work, industries as well as water-supply and the study of 'geohydrology'. Descriptions of different types of dams and the problems faced in relation to the selection of their suitable sites with particular emphasis on the stability of the structures, availability of construction materials and the procedures to be adopted in investigating these geological problems have been incorporated in the sixth chapter. Likewise, the tunnel construction and the associated problems depending for their solution on the study of engineering geology have been dealt with in the seventh chapter. The eighth chapter describes the problems confronted with in selecting road, railway and bridge alignments as well as in the construction of airports and

the solution provided by the study of engineering geology. The subsequent two chapters deal with landslides (including settlement and subsidence) and evaluation of the foundation conditions of heavy structures requiring application of 'grouting' to the weak and fractured zones underneath. The effect of earthquakes on heavy structures and the advice of the engineering geologists on the safety of their sites have been narrated in the eleventh chapter. The twelfth chapter deals in great details about the nature, specification and availability of the natural construction materials (including pozzolan) and the methods of geological investigation involved. The different sources of such materials in India have also been described.

Several important dam projects in India, already completed or under construction have been described in the thirteenth chapter. Likewise, the fourteenth chapter gives the history and development of some important groundwater projects in the country.

বিষয় সূচী

চিত্র সূচী

প্রযুক্তি সম্পর্কীয় ভূবিদ্যা

প্রথম অধ্যায়

প্রযুক্তি সম্পর্কীয় ভূবিদ্যার পরিচয়

প্রযুক্তি সম্পর্কীয় ভূবিদ্যা অর্থাৎ কারিগরী ভূবিদ্যা (Engineering Geology) মূল ভূবিদ্যা (Geology) উদ্ভূত বিজ্ঞানের ব্যবহারিক জীবনে প্রয়োগ এবং তদ্বারা আহরিত অভিজ্ঞতা বাস্তবিদ্‌দের (ইঞ্জিনীয়ারদের) গঠনকার্য্যে সহায়তা করে। মুখ্যতঃ মূল ভূবিদ্যার এবং কারিগরী ভূবিদ্যার উদ্দেশ্য ভিন্ন এবং এই দুই বিজ্ঞান শাখার মধ্যে প্রভেদ বিদ্যমান। কিন্তু কারিগরী ভূবিদ্যা বিষয়ে জ্ঞান অন্বেষণ যথার্থপক্ষে মূল ভূবিদ্যার জ্ঞানাবলীর উপর বিশেষভাবে নির্ভরশীল। ভূবিদ্যা মূলতঃ পৃথিবীর জন্মরহস্য, ইতিহাস এবং তাহার আকার সম্বন্ধে জ্ঞান নির্ণয় করে এবং একারণ ইহার বায়ুমণ্ডল, বারিমণ্ডল এবং শিলামণ্ডলের অধ্যয়নের প্রয়োজন হয়। পৃথিবীর ইতিহাস প্রধানতঃ ভূপৃষ্ঠের শিলাবিন্যাসের দ্বারা আহরিত হয়। পৃথিবীর বিভিন্ন অংশে নানাজাতীয় শিলা আছে এবং তাহাদের উৎপত্তি নানাভাবে হইয়াছে। পৃথিবীর জন্মের পর হইতে বর্ত্তমান কাল অবধি উহা যে সকল প্রাকৃতিক শক্তির সম্মুখীন হইয়াছে এবং তাহাদের দ্বারা বর্তমান অবস্থায় উপনীত হইয়াছে, সেই সকলের ইতিহাস বিভিন্ন প্রকারের শিলাসমূহের মধ্যে নিবদ্ধ।

পৃথিবীর সম্বন্ধে বর্ত্তমান জ্ঞান অন্বেষণ ভূবিদ্যা ছাড়া গণিতশাস্ত্র, পদার্থ বিজ্ঞান এবং রসায়ন শাস্ত্র ইত্যাদির অধ্যয়নের উপর অনেকাংশে নির্ভরশীল। এই হেতু আধুনিক বিজ্ঞান রচনাবলীতে পৃথিবীর জটিল জন্মরহস্য উদ্‌ঘাটনজনিত সংশ্লিষ্ট বিজ্ঞানসমূহকে ভূবিজ্ঞান (Earth Sciences) নামে অভিহিত করা হয়। তবে এই ভূবিজ্ঞানের মধ্যে ভূবিদ্যা প্রধান স্থান অধিকার করে। বাস্তবিদ্‌গণ তাঁহাদের গঠনকার্য্যে ভূবিদ্যার জ্ঞানাবলীর উপর ক্রমবর্দ্ধমান নির্ভরতা বোধ করায় এবং ভূবিজ্ঞানের অপরাপর শাখাগুলি এই ব্যাপারে সহায়তা করায় এই সকল জ্ঞানাবলীর সমষ্টিকে জিওটেক্‌নিক (Geo-technique) নামক এক নূতন বিজ্ঞান শাখার অন্তর্গত করা হইয়াছে। তবে ইহাও স্মরণ রাখিতে হইবে যে ভূবিদ্যার অন্তর্গত সকল শাখাগুলিই এবং ভূবিজ্ঞানের সকল বিষয়গুলিই কারিগরী ভূবিদ্যার গবেষণায় স্থান পায় না।

যে কোন ভারী গঠনকার্য্যের প্রারম্ভে স্থান নির্ণয় একটা জটিল সমস্যা। বাস্তুবিদ্‌গণ ভূস্তরের যে অংশ এই নির্ম্মাণকার্য্যের জন্য মনোনীত করেন, সেই স্থানের স্থায়িত্ব এবং ঐ গঠনের ভারবহনের সক্ষমতা ও গঠনের ভিত্তি স্থাপন ভূস্তরের নীচে কতদূর অবধি প্রসারিত হওয়া উচিত এই সকল বিষয়ে জ্ঞানলাভের জন্য কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের (Engineering Geologist) সাহায্য গ্রহণ করেন। বস্তুত:পক্ষে এই গঠনের আলেখন (Design) প্রস্তুতের আগে ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান কার্য্য করা হয় এবং সেই কার্য্যের ফলাফলের উপর গঠনের আলেখন নির্ভর করে।

বাস্তুবিদ্‌গণ তাঁহাদের বিভিন্ন প্রকারের নির্ম্মাণকার্য্যে ভিত্তি স্থাপন হেতু ভূগর্ভের সাধারণত: একশত মিটার অবধি ভূতাত্ত্বিক অবস্থা সম্বন্ধে অন্বেষণের প্রয়োজন বোধ করেন। এই অন্বেষণ ভূত্বকের এক নগণ্য স্তরের প্রাকৃতিক অবস্থার বিশ্লেষণে সীমাবদ্ধ থাকে। বিশাল এবং ভারী কারিগরী গঠনগুলি যথা বড় বড় বাঁধ, সেতু এবং ভূনিম্নে প্রোথিত কল-কারখানাগুলির ভিত্তিস্থাপনের জন্য শিলাস্তরের উপস্থিতির একান্ত প্রয়োজনীয়তা বোধ করা হয়। ভূগর্ভের এই সকল শিলাস্তরের মৌলিক গুণাগুণ সম্বন্ধে যথেষ্ট পরিমাণে জ্ঞানের প্রয়োজন। কারিগরী ভূবিদ্যা-বিশেষজ্ঞ মূলত: একজন ভূতত্ত্ববিদ্‌। সুতরাং গঠনকার্য্যের জন্য নির্দেশিত স্থানের শিলাবিন্যাসে তাঁহার মূল ভূতাত্ত্বিক জ্ঞানের ব্যবহার বিশেষভাবে সহায়তা করে। অপেক্ষাকৃত ছোট আকারের এবং হাল্কা গঠনগুলির ভিত্তিস্থাপনের জন্য ভূস্তরের মৃত্তিকার ভারবহনের শক্তির নিরূপণ করা হয়।

কারিগরী গঠনকার্য্যে ভূবিজ্ঞানের সহায়তার মাত্রা ক্রমবর্দ্ধমান হওয়ায় বাস্তুবিদ্‌গণ এবং কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞগণ ক্রমশ: তাঁহাদের কার্য্যক্ষেত্রে নিবিড়ভাবে সংশ্লিষ্ট হইয়া পড়িতেছেন এবং একে অপরের জ্ঞানের উপর কতকাংশে নির্ভরশীল বোধ করিতেছেন। এই কারণে বাস্তুবিদ্‌গণ যেমন একদিকে কারিগরী ভূবিদ্যার সহিত তাঁহাদের একটা মোটামুটি পরিচয়ের প্রয়োজনীয়তা উপলব্ধি করিয়াছেন, অন্যদিকে কারিগরী বিশেষজ্ঞগণ বাস্তু-বিদ্‌গণের পরিকল্পিত ভারী ইমারত এবং অন্যান্য প্রকারের গঠনকার্য্যের আলেখন বা গঠন সমস্যা সম্বন্ধে যথেষ্ট পরিমাণে জ্ঞান আহরণের প্রয়োজন বোধ করিতেছেন।

দ্বিতীয় অধ্যায়

কারিগরী ভূবিদ্যার অন্তর্গত অনুসন্ধানের প্রধান বিষয়সমূহ

বর্ত্তমানে কারিগরী ভূবিদ্যা নিম্নলিখিত গঠনকার্য্যে এবং পরিকল্পনায় বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ স্থান অধিকার করে; যথা—বহুমুখী (Multipurpose) বন্যা নিয়ন্ত্রণ পরিকল্পনা; সেচের (Irrigation) এবং জলবিদ্যুৎ শক্তির (Hydro-electricity) জন্য বাঁধ নির্মাণ; রেলপথ ও প্রধান যোগাযোগ সড়ক নির্ম্মাণ; পাহাড়ী ঢালের স্থায়িত্ব (Stability) নির্ণয়; সুড়ঙ্গ (Tunnel) নির্মাণ; নগর সম্প্রসারণ; ইত্যাদি।

বহুমুখী বন্যা নিয়ন্ত্রণ পরিকল্পনা (Multipurpose Flood Control Scheme)—বস্তুত: এই পরিকল্পনার গণ্ডীর মধ্যে সেচের এবং জলবিদ্যুৎ শক্তির পরিকল্পনাও বিশেষভাবে সীমাবদ্ধ। পৃথিবীর বহুদেশেই বন্যার কবলে মানুষ কোন না কোন সময়ে নিপীড়িত হয়ে থাকে। অনেক দেশে ইহা একটি বাৎসরিক ঘটনা বলিয়া গণ্য হয়। বহু নদ-নদীর পরিবাহ ক্ষেত্রে হঠাৎ এবং ধারাবাহিক প্রবল বৃষ্টিপাতের ফলে জলভারের মাত্রা ঐ সকল নদ-নদীর বর্ত্তমান জল নিষ্কাশনের ক্ষমতার সীমা অতিক্রম করে। ফলে ঐ সকল নদ-নদীতে জলস্ফীতি দেখা দেয় এবং পরিশেষে উহার পার্শ্ববর্তী এলাকাগুলি এবং উপত্যকার নিম্নস্থানগুলি ভয়াবহ জলপ্লাবনের সম্মুখীন হয়। আমরা জানি যে এই ভয়াবহ জলপ্লাবনের ফলে প্রতি বৎসর বহু সংখ্যক নরনারী ও গবাদি পশুর প্রাণহানি ঘটে এবং প্রভূত শস্য ও সম্পত্তির ক্ষতিসাধন হয়। এই কারণে জাতীয় সম্পদের বিনাশ রোধকল্পে বন্যানিয়ন্ত্রণের প্রয়োজনীয়তা উপলব্ধি করা হয়।

যে সকল নদ-নদীর উপত্যকা ও পার্শ্ববর্তী অঞ্চলসমূহ বর্ত্তমান যুগে উপর্য্যুপরি বন্যার গ্রাসে কবলিত হয়, সেই সকল অঞ্চল পূর্বে কদাচিৎ বন্যার সম্মুখীন হইত। এই প্রাকৃতিক পরিবর্ত্তনের হেতুর সন্ধান করিয়া ইহা প্রমাণিত হইয়াছে যে ঐ সকল নদ-নদীর পরিবাহক্ষেত্রগুলি পূর্বে গভীর জঙ্গলাকীর্ণ ছিল। কিন্তু কালক্রমে ঐ সকল জঙ্গলের অনিয়মিত অপসারণ হেতু প্রবল বৃষ্টির বারিধারা বিনা বাধায় নিকটস্থ নদীগর্ভে ধাবমান হয় এবং পাহাড়ী অঞ্চলে এই বারিধারার গতি ঢালের জন্য

অতিশয় বর্দ্ধিত হয়। এই অতিধাবমান বারিধারা তাহার গতিপথের সম্মুখস্থ প্রস্তর ও মৃত্তিকার চূর্ণসাধন করে এবং সেগুলি যথাক্রমে নদীগর্ভে স্থান পায়। কালক্রমে এই চূর্ণীভূত প্রস্তর ও মৃত্তিকার দ্বারা নদীগর্ভগুলি ভরিয়া যায় এবং তাহাদের গভীরতা হ্রাস পায়। ফলে এই সকল নদ-নদীর পরিবাহক্ষেত্রে হঠাৎ মাত্রাধিক্যে প্রবল বৃষ্টিপাতের হেতু নিয়মিত জল নিকাশনে ব্যাঘাত ঘটে এবং বন্যা হয়। মানবসমাজকে উপর্য্যুপরি এইরূপ করালগ্রাসী বন্যার কবলমুক্ত করার উদ্দেশে বন্যানিয়ন্ত্রণ পরিকল্পনা করা হয়। যদিও এই পরিকল্পনার মুখ্য উদ্দেশ্য নদীর জলের গতি ও মাত্রা সীমিত করা, কিন্তু কার্য্যক্ষেত্রে দেখা যায় যে নদীর গতিপথে অবরোধ (বাঁধ) সৃষ্টি করায় বিশাল জলভাণ্ডারের সৃজন হয় এবং এই জলভাণ্ডারকে বিজ্ঞানসম্মত উপায়ে নানারূপ কাজে লাগাইয়া মানবজাতির কল্যাণ সাধন করা যায়।

বাঁধ—প্রথমেই ইহা জানা প্রয়োজন যে নদীর গতিপথে বাঁধ নির্মাণের দ্বারা উহার উপর অঞ্চলে যে কৃত্রিম জলাধারের সৃষ্টি হয় তাহাতে বহু গ্রাম, ক্ষেতের জমি, বন এবং খনিজ সম্পদ চিরকালের জন্য অবলুপ্ত হয়। সুতরাং বন্যা নিয়ন্ত্রণের জন্য বাঁধ নির্মাণের পরিকল্পনায় ঐ বাঁধের উপযুক্ত স্থান নির্ণয় একটি কঠিন সমস্যা। এই স্থান নির্ণয়ের সময়ে যদিও বাঁধের উপযুক্ত ভিত্তির স্থিতিশীলতার উপর সর্বাপেক্ষা বেশী গুরুত্ব আরোপ করা হয়, তথাপি কল্পিত জলাধারের গণ্ডীর মধ্যে যাহাতে অতি অল্প সংখ্যক গ্রাম এবং প্রাকৃতিক সম্পদ চিরতরে অবলুপ্ত হয় সেদিকেও বিশেষ নজর রাখা হয়। সুতরাং শেষোক্ত সমস্যাটির ন্যায়সঙ্গত সমাধানের জন্য প্রয়োজনবোধে বাঁধ নির্মাণের স্থানের কিছুটা রদবদল করা হয়।

বাঁধ নির্মাণের দ্বারা বন্যা নিয়ন্ত্রিত হয় এবং বাঁধের দ্বারা যে জলসম্ভারের সৃষ্টি হয়, সেই জলের নিষ্ক্রমণ (Spilling) নিয়ন্ত্রণ করিয়া বাঁধের নিম্নদিকের সমতলভূমির সেচের কার্য্যে বিশেষভাবে সহায়তা করা হয়। যে কোন বাঁধ নির্মাণ করিলে সেই বাঁধের নিষ্ক্রমণ পথ (Spillway) এমন হিসাবে গঠিত হয় যে ঐ বাঁধের জলাধারের সর্বোচ্চ মাত্রা সীমাবদ্ধ থাকে। ইহা একটি বিশেষ লক্ষণীয় বস্তু। বাঁধের জল অবিরাম নিষ্ক্রান্ত হয়, তবে উহার পরিমাণ বাঁধের নিম্ন এলাকার সেচের প্রয়োজনমত কম বেশী করা হয়।

বাঁধের জলের আর একটি বিশেষ ব্যবহার হয় জলবিদ্যুৎশক্তি (Hydro-electricity) উৎপাদনে। বাঁধের জলাধার হইতে নিয়ন্ত্রিতভাবে

জল নিস্রাবের দ্বারা এবং ঐ জল জলপ্রপাতের আকারে বাঁধ হতে বৃহদাকারের করেকটি চুঙ্গীর (Penstock) সাহায্যে অথবা ভূনিম্নে সুড়ঙ্গের দ্বারা বেশ কিছু নিম্নে পাতিত করিয়া টারবাইন (Turbine) চালাইতে সাহায্য করিয়া বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন করা হয়। এই বিদ্যুৎশক্তির পরিমাণ বাঁধ হইতে টারবাইনের নিম্নতা এবং জলের পরিমাণের উপর সরাসরি নির্ভরশীল। এই কারণে কাম্য জলবিদ্যুৎ শক্তির উৎপাদনের জন্য বাঁধের জল যতটা নীচে পাতিত করা আবশ্যক তাহা যদি ঐ স্থানের স্থলাকৃতির (Topography) জন্য সম্ভব না হয়, তবে এই টারবাইন স্থাপনা বাঁধের নিকটে ভূগর্ভে করা হয়। অথবা বাঁধ নির্মাণের স্থানের কিছুটা সম্ভাব্য রদবদল করিয়া এই টারবাইন বাঁধের অব্যবহিত নীচে স্থাপনা করা হয়। বাঁধের জলের পরিমাণ এবং নিস্রাবজনিত জলক্ষরের মধ্যে একটা সামঞ্জস্য রাখিয়া এই জলবিদ্যুৎ শক্তির পরিমাণ নির্ণয় করা হয় এবং প্রয়োজনবোধে একাধিক টারবাইন বসান হয়। এইভাবে জলবিদ্যুৎ শক্তি উৎপাদনের বিশেষ লক্ষণীয় বস্তু এই যে বাঁধ হতে চুঙ্গীর সাহায্যে নিষ্ক্রান্ত জলের টারবাইন চালাইবার পর বিশেষ কোনরূপ অপচয় হয় না এবং ঐ জল পুনরায় নদীটির নিম্নদিকের গতিপথে মিলিত হয়। অবস্থা বিশেষে এই জল প্রবাহকে নদীর চালের মান অনুযায়ী নিকটেই বা কিছু দূরে অপর একটি বাঁধের দ্বারা পুনরায় অবরোধ করিয়া দ্বিতীয় জলাধারের সৃষ্টি করা হয় এবং উহা হতে সেচের জল সরবরাহ করা হয় অথবা সরাসরি প্রথম দফার জলবিদ্যুৎ উৎপাদন ক্ষেত্র হতে নিষ্ক্রান্ত জল কল্পিত জলপ্রণালীর সাহায্যে পরিকল্পনানুযায়ী নিম্নচালে দ্বিতীয় দফার টারবাইন চালাইবার কাজে সংযোজিত করা হয় এবং অতিরিক্ত জলবিদ্যুৎ শক্তি উৎপাদিত হয়। অতএব দেখা যাইতেছে যে একই জলের সাহায্যে একাধিকবার জলসেচের কার্য্য এবং বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন করা যায়। ইহা ছাড়া বাঁধ-সম্ভূত বিশাল জলাধারে মৎস্যের চাষ বিশেষ লাভজনক হয়। বাঁধের জলাধার হতে নল সংযোগে নিকটস্থ কল-কারখানায় এবং নগরসমূহে জল সরবরাহও বহুমুখী বাঁধ পরিকল্পনার একটি বিশেষ অঙ্গ।

উপর্য্যুপরি ভয়াবহ বন্যা যে কেবল মাত্র জলপ্লাবনের দ্বারা সাময়িক প্রাণনাশ ও শস্যাদির প্রভূত ক্ষতিসাধন করে তাহাই নহে ; এক একটি বন্যার কবলে বিধ্বস্ত এলাকা বহুদিনব্যাপী জলমগ্ন থাকে এবং সেই অবরুদ্ধ জলমগ্ন জমিতে চাষের উপায় থাকে না। অধিকন্তু এই অবরুদ্ধ জল মশার ও অন্যান্য কীট পতঙ্গাদির জন্মের বিপুল সহায়তা করে।

ফলে ম্যালেরিয়া প্রভৃতি রোগে নিকটস্থ গ্রামবাসীরা আক্রান্ত হইয়া দারুণ দুর্ভোগের সম্মুখীন হয় এবং মৃত্যুমুখে পতিত হয়। কিন্তু বাঁধের দ্বারা বন্যা নিয়ন্ত্রণ করার বহু এলাকার এইভাবে জলমগ্ন থাকা রহিত হইয়াছে এবং বহু উচ্চ মানের ফসলের জমি সংরক্ষিত হইয়াছে। উপরন্তু ঐ সকল এলাকার বসবাসীদের স্বাস্থ্যের উন্নতি পরিলক্ষিত হইয়াছে।

সুতরাং উপরোক্ত বিষয়গুলি হইতে দেখা যায় যে বন্যা নিয়ন্ত্রণে বাঁধ নির্মাণের পরিকল্পনাকে কি ভাবে বহুমুখী করিয়া মানবজাতির কল্যাণ সাধন করা হয়। এই প্রসঙ্গে ইহাও বলা প্রয়োজন যে বড় বড় বাঁধ নির্মাণের প্রকল্পে ঐ সকল বাঁধের পরিবাহক্ষেত্রে যে সকল অরণ্যবহুল স্থান অনিয়মিত বৃক্ষচ্ছেদের ফলে উন্মুক্ত হইয়া পড়িয়াছে, সেই সকল স্থানে পুনরায় বনস্থাপনা (Afforestation) করা বিশেষ প্রয়োজন। এই বন স্থাপনার দ্বারা শুধু যে বন সম্পদের সৃষ্টি হয় তাহাই নহে, ইহা দ্বারা মৃত্তিকাচ্ছাদনের (Soil cap) সংরক্ষণ হয়। ফলে জলপ্রবাহের দ্বারা বাহিত মৃত্তিকাচূর্ণের মাত্রা যথেষ্ট পরিমাণে হ্রাস পায় এবং বাঁধজনিত জলাধারের পরিকল্পিত গভীরতা বহুদিন নিয়ন্ত্রণাধীন থাকে। পার্বত্যাঞ্চলে বন্যা নিয়ন্ত্রণ জন্য যে সকল বাঁধের পরিকল্পনা করা হয়, সে সকল ক্ষেত্রে ঐ পার্বত্য নদীসমূহের পরিবাহক্ষেত্রের ঢালের মাত্রা খুব বেশী থাকায় ঐ সকল স্থান জঙ্গলে পূর্ণ হওয়া সত্বেও নিম্নগামী জলরাশি অতিবেগে নদীবক্ষের দিকে ধাবমান হয় এবং এই গতিপথের সম্মুখস্থ প্রস্তর ও মৃত্তিকার ক্ষয়সাধন অধিকমাত্রায় সাধিত হয়। সে কারণ বহু উচ্চ ও তুষারাবৃত পর্বতসমূহের পাদদেশে বন্যানিয়ন্ত্রণের জন্য বাঁধ নির্মাণের মূল পরিকল্পনার সহিত নদীর পরিবাহক্ষেত্রে ছোট ছোট বাঁধ (Check dam) নির্মাণেরও কার্য্যসূচী প্রস্তুত করা হয়। এই সকল চেক্ বাঁধ যে কেবলমাত্র মূল বাঁধের জলাধারকে প্রস্তর ও মৃত্তিকাচূর্ণ দ্বারা পূর্ণ হওয়ায় গভীরতা হ্রাসের বিপদ হইতে সংরক্ষণ করে তাহাই নহে, পর্বতশিখরস্থ তুষারের দ্রবীভূত হওয়ার জন্য যে আকস্মিক অভাবনীয় জলধারার সৃষ্টি হয় তাহারও গতি অনেকাংশে প্রতিহত করে।

এই বহুমুখী বন্যানিয়ন্ত্রণ পরিকল্পনায় কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞদের অবদান অনেক বেশী এবং বাস্তবিদ্‌গণের সহিত তাঁহারা ঘনিষ্ঠভাবে সংশ্লিষ্ট। এই বিষয়ে বিস্তারিত আলোচনা পরে করা হইয়াছে।

রেলপথ—যে কোন রেলপথ নির্মাণের কার্য্যেও কারিগরী ভূবিদ্যার উপযুক্ত ব্যবহার বিশেষ প্রয়োজনীয়। বস্তুতঃ কোন এক স্থানকে অপর

এক স্থানের সহিত রেলপথে সংযোগ করার পরিকল্পনায় প্রথমে এই রেলপথ কোন্ কোন্ স্থান দিয়া গঠিত হইবে তাহার জরীপ করা হয়। সারা রেলপথটি যে কেবলমাত্র সমতলভূমিরই উপর নির্মিত হইবে এরূপ সম্ভব নহে। পথে উৎরাই (Slope), চড়াই (Rise), নদী, নালা প্রভৃতি অতিক্রম করিবার প্রয়োজন থাকে। বিশেষতঃ পার্বত্যাঞ্চলে স্থানবিশেষে সুড়ঙ্গের মধ্য দিয়া রেলপথ নির্মাণের প্রয়োজন হয়। আবার অনেক স্থলে রেলপথের সমতলভাব বজায় রাখার জন্য মাটির বাঁধ (Embankment) প্রস্তুত করিয়া তাহার উপর দিয়া রেলপথের বিন্যাস করা হয় অথবা চড়াই (Rise)-এর অসুবিধা দূরীকরে ঐ স্থানে প্রয়োজনীয় খাত (Cutting) করিয়া রেলপথের সমতল অবস্থার সৃষ্টি করা হয়। রেলপথটির প্রাথমিক জরীপ কার্য্য চালাইবার পর উহার একটি নক্সা প্রস্তুত করা হয়। পরে এই প্রস্তাবিত রেলপথের নক্সা কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ নিরীক্ষা করিয়া ঐ রেলপথের স্থায়িত্ব সম্বন্ধে তাঁহার মতামত পেশ করেন। অধিকাংশস্থলে রেলওয়ে ইঞ্জিনীয়ারগণ যখন প্রাথমিক জরীপ কার্য্য চালাইতে থাকেন সেই সময়ে কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ ঐ দলে সংযুক্ত থাকিয়া ভূস্তরের স্থায়িত্ব এবং রেলপথের ভারবহনের সক্ষমতা সম্বন্ধে অনুসন্ধান চালাইতে থাকেন। প্রাথমিক পর্য্যায়ের এই কাজে কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের সংশ্লিষ্ট থাকা বিশেষভাবে লাভজনক, কারণ ঐ জরীপ কার্য্য চালাইবার সময়েই তিনি তাঁহার মতামত প্রকাশের দ্বারা নির্ণীত রেলপথের প্রয়োজনবোধে পরিবর্তন করিতে সহায়তা করেন। ইহার দ্বারা সময়ের এবং প্রাথমিক পর্য্যায়ের কাজে ব্যয়েরও ভারলাঘব করা সম্ভব হয়।

নূতন রেলপথ নির্মাণ বা সম্প্রসারণ যে কেবল স্থান বিশেষের যোগাযোগ এবং যাত্রীগণের গমনাগমনের সুবিধার জন্য করা হয় তাহাই নহে। ঐ রেলপথ পরিকল্পনার আর একটি বিশেষ লক্ষ্যবস্তু হইতেছে পার্শ্ববর্তী অঞ্চলের উৎপন্ন সামগ্রীর বাণিজ্যে সহায়তা করা। এই কারণে রেলপথ জরীপের সময়ে পার্শ্ববর্তী অঞ্চলসমূহে কোন্ কোন্ উৎপন্ন সামগ্রীর ব্যবসায় এই রেলপথের দ্বারা উপকৃত হইবে সেই অর্থনৈতিক বিষয়েও সমীক্ষা করা হয়। এই প্রসঙ্গে ইহাও বিশেষ উল্লেখযোগ্য যে বহু খনিজ সম্পদ রেলপথের সুবিধা না থাকায় আহরিত হয় না। কারণ যে কোন খনিজ বস্তু ভূগর্ভ হইতে উদ্ধার ও তাহাকে যথারীতি প্রস্তুত করা একটি ব্যয়বহুল বিষয়। ইহার পর বিক্রয়কেন্দ্রে পৌঁছিয়া অন্যস্থান হইতে আহরিত ঐরূপ খনিজবস্তুর বিক্রয় মূল্যের সহিত প্রতিযোগিতার

সম্মুখীন হইতে হয় এবং রেলপথ দ্বারা মালবহনের সুবিধা না থাকিলে এই মূল্যপ্রতিযোগিতায় সফল হওয়া যায় না। ইহাও জানা দরকার যে রেলপথ চালনা কেবলমাত্র যাত্রীর মাশুল হইতে লাভজনক হয় না। বরং উহাতে ব্যয়ের অঙ্কই বেশী হয়। প্রকৃতপক্ষে মালবহনের মাশুলই রেল কর্তৃপক্ষকে লাভবান করে। সুতরাং জরীপের সময়ে কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ ঐ প্রস্তাবিত রেলপথের নিকটে কোন খনিজ সম্পদ আছে কি না এবং থাকিলে তাহার ব্যবসায়ের কিরূপ সম্ভাবনা আছে সে বিষয়ে অনুসন্ধান করেন এবং প্রয়োজনবোধে ঐ রেলপথের নিরূপণের রদবদল করিতে উপদেশ দেন। ইহা ছাড়াও ঐ রেলপথ যাহাতে ভূপৃষ্ঠে অথবা ভূগর্ভে নিহিত কোন ব্যবসায়োপযোগী খনিজ সম্পদের উপর দিয়া নিরূপিত না হয় সেদিকেও নজর রাখেন। এই রেলপথ নিরূপণের কার্য্যে সহযোগিতা করা ছাড়াও কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞদের উপর আরও গুরু দায়িত্ব ন্যস্ত হয় উহার সেতুর ও সুড়ঙ্গের স্থান নির্ণয়ে এবং তাহাদের স্থায়িত্বের অনুসন্ধানে।

রাজপথ—প্রধান প্রধান রাজপথ ও যোগাযোগ সড়কসমূহের পরিকল্পনা ও নির্মাণের বিষয়েও উপরোক্ত ঐ একই কথা বলা যেতে পারে। এই বিষয়েও কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের অবদান খুবই গুরুত্বপূর্ণ। রেলপথ ও রাজপথ পরিকল্পনায় এবং তাহাদের নির্মাণকার্য্যে এই বিশেষজ্ঞদের সহযোগিতা সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা পরে করা হইয়াছে।

পাহাড়ী ঢালের স্থায়িত্ব—সংবাদপত্রে প্রায়ই, বিশেষতঃ বর্ষাকালে, দেখা যায় যে কোন না কোন পাহাড়ী অঞ্চলে ধ্বস নামার ফলে যোগাযোগ ব্যবস্থা ছিন্ন হইয়াছে এবং সম্পত্তির বিনাশ সাধন হইয়াছে। কখনও বা এই দুর্ঘটনা এতই আকস্মিক ও বিনা সঙ্কেতে ঘটে যে ইহার ফলে প্রাণহানিও হয়। সাধারণতঃ পাহাড়ী অঞ্চলের সহিত নিকটস্থ সমতল-ভূমির যোগাযোগ সড়ক নির্মাণের সময়ে পরিকল্পিত সড়কের ঢালের দিকে বিশেষ নজর রাখিতে হয় যাহাতে ঐ ঢাল পায়ে চলা মানুষের সাধ্যাতীত না হয় অথবা বাষ্পীয় শকট ও মোটর যানের পক্ষেও সহজসাধ্য হয়। কিন্তু স্থান বিশেষে এই সড়কের নির্দেশিত ঢাল বজায় রাখার জন্য সড়কের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করিতে হয়, নতুবা পাহাড়ের গাত্র কাটিয়া এই ঢাল বজায় রাখা হয়। এই ঢাল নির্ণয়ের সময়ে ইঞ্জিনীয়ারগণ তাঁহাদের বিজ্ঞানসম্মত ঢালের মাত্রা স্থির করেন। কিন্তু ঐ স্থানের শিলাসমূহের

ভারবহন ক্ষমতা এবং শিলা ও মৃত্তিকার সংসক্তি (Cohesion) সম্বন্ধে অনুসন্ধান ও মতামত প্রকাশ করেন কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ। শুধু যে পাহাড়ী অঞ্চলের সড়কের ঢালের স্থায়িত্ব নির্ণয় করা হয় তাহাই নহে, এই সড়কের সংলগ্ন খাড়াইয়ের উপরে অবস্থিত গৃহাদির নিরাপত্তাও তাঁহাকে অনুসন্ধান করিতে হয়। অনেকস্থলে বিপর্য্যয়ের কারণ অনুসন্ধান করিয়া দেখা গেছে যে হয় কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ এই পরিকল্পনার সহিত সংশ্লিষ্ট ছিলেন না অথবা তাঁহার মতামতের উপর উপযুক্ত গুরুত্ব অর্পণ করা হয় নাই। সুতরাং দেখা যায় যে এই কাজেও ইঞ্জিনীয়ার-গণ কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের সাহায্য বিশেষভাবে গ্রহণ করিতে বাধ্য হন।

সুড়ঙ্গ নির্মাণ—খনিজ পদার্থের আহরণে ভূনিম্নে সুড়ঙ্গ দ্বারা প্রবেশ করা ছাড়াও পার্বত্যাঞ্চলে রেলপথ ও যোগাযোগ সড়কের স্থাপনায় অনেক জায়গায় সুড়ঙ্গ নির্মাণের বিশেষ প্রয়োজন হয়। ঢালের সমতা বজায় রাখিতে সুড়ঙ্গের সাহায্য অনেকস্থলে অপরিহার্য্য হইয়া পড়ে। ইতিপূর্বেই রেলপথের জরীপ সম্পর্কে বলা হইয়াছে যে ঐ পথের নিরূপণের সময়ে যদি কোন পাহাড় দুই স্থানের মধ্যে অন্তরাল হয় অথচ ঐ দুই স্থানের মধ্যে যোগাযোগ স্থাপনা করার অন্য কোন বিকল্প উপায় না থাকে, সে স্থলে ঐ পাহাড় কাটিয়া সুড়ঙ্গ নির্মাণের প্রয়োজন হয়। রাজপথ নির্মাণের বিষয়েও ঐ একই উপায় প্রযোজ্য। অনেকস্থলে ঐ অন্তরাল যদি প্রস্তরময় না হইয়া অপেক্ষাকৃত নরম মাটির ঢিপি হয়, সেক্ষেত্রে গভীর খাত কাটিয়া পথ নিরূপণ করা হয়। লোকবহুল বড় বড় সহরে যাত্রীদের সুবিধার জন্য ভূগর্ভে সুড়ঙ্গের মধ্য দিয়া রেলগাড়ী বা যানবাহন চালান হয়। এমন কি সহরের কোন কোন প্রধান সড়কসমূহের সংযোগ স্থলে পদচারীর এবং যানবাহনের ভীড়ের চাপ এত বৃদ্ধি পায় যে ঐ অবস্থার প্রতিবিধানকল্পে এই সকল স্থানে সুড়ঙ্গ নির্মাণ করিয়া এবং তাহার দ্বারা লোক চলাচল অথবা যানবাহনের পরিচালনা নির্দেশিত করিয়া অবস্থা আয়ত্বাধীন করা হয়। এমন কি পৃথিবীর কয়েকাংশে বৃহদাকার নদীর উপর সেতু নির্মাণ করিয়া পারাপারের ব্যবস্থার পরিবর্তে ঐ নদীর তলদেশ দিয়া সুড়ঙ্গের সাহায্যে যাতায়াত করা হয়। ইহা ছাড়াও সুড়ঙ্গের সাহায্যে পানীয় জল সরবরাহ এবং ময়লা জল নিকাশনের ব্যবস্থা করা হয়। সুড়ঙ্গের আর একটি বিশেষ ব্যবহারের কথা জলবিদ্যুৎ শক্তির উৎপাদন প্রকল্পে পূর্বেই আলোচিত হইয়াছে।

এই সুড়ঙ্গের উপযুক্ত স্থান নির্ণয়ে কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের অবদান খুব গুরুত্বপূর্ণ। ইহা জানা দরকার যে সুড়ঙ্গ নির্মাণের কলা-কৌশল যদিও ইঞ্জিনীয়ারদের অধিকারভুক্ত, তথাপি পাহাড়ের কোন্ জায়গায় সুড়ঙ্গের প্রবেশপথ নিরাপদজনক এবং ঐ সুড়ঙ্গ পথ কোন্দিকে নিরূপিত হইলে উহার নিরাপত্তার আশঙ্কা থাকিবে না এবং পাহাড়ের কোন্ স্তরে এই সুড়ঙ্গপথ নির্মিত হইলে তাহার তলদেশ বসিয়া যাওয়ার অথবা ছাদ ধ্বসিয়া যাওয়ার বিপদের সম্মুখীন হইতে হইবে না এই সকল বিষয়ে মতামত প্রকাশের ভার কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের উপর ন্যস্ত হয়।

সেতু নির্মাণ—নূতন রেলপথ ও রাজপথ নির্মাণের প্রকল্পে যখন ঐ সকল পথের জরীপ কার্য্য চালান হয়, তখন ছোট ছোট নালা ও বৃহদাকার নদ-নদী অতিক্রমের জন্য সেতু নির্মাণের অবশ্য প্রয়োজনীয়তা দেখা দেয়। এই সেতুনির্মাণের স্থান নির্ণয় একটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ সমস্যা। প্রথমতঃ ইহা বিশেষ বাঞ্ছনীয় যে এই সেতুপথের দৈর্ঘ্য যতদূর সম্ভব কম হয় এবং সম্ভব হইলে সেতুর স্তম্ভগুলির ভিত্তিস্থাপন নদীবক্ষের শিলাস্তরের উপর করা যায়। সেতুপথের জরীপের সময়ে ইঞ্জিনীয়ারগণ এই দুইটি বিষয়ের উপর বিশেষ লক্ষ্য রাখেন, কিন্তু এই কার্য্যে কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের মতামত অতিশয় গুরুত্বপূর্ণ। তিনি ঐ নদীবক্ষের শিলাসমূহের কিরূপ ক্ষয় সাধন হইয়াছে এবং তাহাদের ভার বহনের ক্ষমতা কতটা সেই বিষয়ে অনুসন্ধান করেন, প্রয়োজন হইলে ঐ সকল শিলাস্তরে ছিদ্র করিয়া (Drilling) দেখা হয় যে কতদূর নিম্নে স্তম্ভের ভিত্তি স্থাপনের প্রয়োজন হইবে। অনেকস্থলে ঐ প্রস্তাবিত রেলপথ বা রাজ-পথের পার্শ্বে শিলাস্তরের উপস্থিতি থাকিলেও নদীবক্ষে কোনরূপ শিলা দর্শনগোচর হয় না। সে সকল ক্ষেত্রেও বালুকাময় নদীবক্ষে এইরূপ ছিদ্র করিয়া শিলাস্তর কত নিম্নে অবস্থিত তাহা নির্ণয় করা হয়। এই সকল অনুসন্ধানে কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের কর্ম তালিকা অষ্টম অধ্যায়ে বিশদরূপে বর্ণিত হইয়াছে।

নগর সম্প্রসারণ—বর্তমানে পৃথিবীর সকল দেশেই লোকসংখ্যা বৃদ্ধি হেতু নূতন নগর নির্মাণের চাহিদা বাড়িয়াছে। ইহা ছাড়াও ক্রমবর্দ্ধমান ভারী শিল্পের প্রতিষ্ঠাকল্পে বহু ছোট ছোট শিল্প-নগরীর আবির্ভাব হইতেছে। এই সকল কারণে বহু পতিত এবং অসমতল জমির পুনরুদ্ধার করার প্রয়োজন দেখা দিয়াছে। এমন কি কোন কোন ক্ষেত্রে বিশেষ প্রয়োজন-

বোধে জলা জমির সংস্কার করিয়া এই সকল নূতন নগরের প্রতিষ্ঠা করা হইতেছে। এই কার্য্যে কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের বিশেষ ভূমিকা আছে। মুখ্যতঃ নগর সম্প্রসারণের পরিকল্পনা প্রস্তুতের সময়ে সাধারণতঃ কিরূপ আয়তনের গৃহ নির্মাণ করা হইবে বা কল-কারখানাগুলির প্রতিষ্ঠানে কিরূপ ওজনের যন্ত্রপাতি বসান হইবে, এই সকল তথ্যের সহিত স্থানীয় ভূতাত্ত্বিক অবস্থার একটা সামঞ্জস্য খুঁজিয়া বাহির করিতে হয়। এই অনুসন্ধান সূচীর অন্তর্গত জিওটেক্‌নিকাল (Geo-technical) কার্য্যাবলীর ফলাফলের উপর নির্ভর করিয়া বিশেষজ্ঞ ঐ সকল স্থানের স্থায়িত্ব এবং প্রয়োজনবিশেষে যোগ্যতার সম্বন্ধে মতামত প্রকাশ করেন। এই বিষয়ে জিওটেক্‌নিকাল অনুসন্ধান সম্বন্ধে দশম অধ্যায়ে বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে।

তৃতীয় অধ্যায়

কারিগরী ভূবিদ্যা সম্পর্কিত অনুসন্ধান পদ্ধতির বিবরণ

পূর্ব অধ্যায়ে কারিগরী ভূবিদ্যা কোন্ কোন্ গঠনকার্য্যে এবং তাহাদের পরিকল্পনায় বিশেষভাবে সংশ্লিষ্ট তাহা আলোচিত হইয়াছে। ঐ সকল কার্য্যে কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের অনুসন্ধান পদ্ধতি এক্ষণে আলোচনা করা হইতেছে।

ভিন্ন প্রকারের গঠনকার্য্যের জন্য ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানও বিভিন্ন হয়। এই অনুসন্ধান সাধারণতঃ ভূপৃষ্ঠে ও ভূনিম্নে করা হয়। ভূপৃষ্ঠে অনুসন্ধানসূচীর মধ্যে ঐ স্থানের মানচিত্র (Map) গঠন ও তাহার বিশ্লেষণ সর্বপ্রথম স্থান পায়। যে স্থানের উপযোগিতা সম্বন্ধে অনুসন্ধান করা হয়, সেইস্থানের ভূপৃষ্ঠের প্রাকৃতিক বৈশিষ্ট্যগুলির, যথা—সমতলতা বা পাহাড়িয়াভাব, উন্মুক্ত বা জঙ্গলাকীর্ণ, নদী-নালার দ্বারা বিভক্ত কি না এবং উপত্যকা গঠন প্রণালী (Valley formation) ইত্যাদির সমীক্ষা করা হয়। এই স্থানের পরিবাহ পদ্ধতিরও (Drainage system) বিশেষ নিরীক্ষা করা হয়। এই সকল নিরীক্ষাকার্য্যে নির্ধারিত স্থানের স্থলাকৃতির (Topographical) এবং ভূতাত্ত্বিক (Geological) মানচিত্রের বিশেষ প্রয়োজন।

স্থলাকৃতির মানচিত্র—সাধারণতঃ এই মানচিত্র প্রায় সকল জায়গারই তৈয়ার হইয়াছে। এই সকল মানচিত্রে প্রাকৃতিক বিষয়গুলি যথা—নদী, হ্রদ, জলাভূমি, জলপ্রপাত, পর্বতমালা এবং মনুষ্য নির্মিত রাজপথ, রেল পথ, বড় বড় সহর এবং গ্রামসমূহ দেখান থাকে। ইহা হইতে কোন দুই স্থানের মধ্যে দূরত্ব এবং স্থান বিশেষের (পর্বত ইত্যাদির) উচ্চতাও নির্ধারণ করা যায়। কারিগরী গঠনকার্য্যের জন্য নির্ধারিত স্থানের বড় ক্রমের (Scale) যথা—এক ইঞ্চিতে একশত ফুট অথবা এক সেণ্টিমিটারে একশত মিটারের হিসাবে বিশেষ ধরণের মানচিত্র তৈয়ার করা হয়।

ভূতাত্ত্বিক মানচিত্র—ইহা প্রস্তুতের জন্য স্থলাকৃতির মানচিত্রের একান্ত প্রয়োজন। ভূতত্ত্ববিদ্ এই মানচিত্র প্রস্তুতে ভূতাত্ত্বিক বৈশিষ্ট্যগুলি স্থলাকৃতির মানচিত্রের উপর অঙ্কিত করেন। ভারতবর্ষের বহুস্থানের ভূতাত্ত্বিক মানচিত্র ইতিমধ্যেই ভারতীয় ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষা বিভাগ

(Geological Survey of India) প্রস্তুত করিয়া সাধারণের ব্যবহারকল্পে প্রকাশ করিয়াছে। যদি কোন গঠনকার্য্যের জন্য নির্ধারিত স্থানের ও পার্শ্ববর্তী অঞ্চলের ভূতাত্ত্বিক মানচিত্র পূর্বেই প্রকাশিত হইয়া থাকে, তাহা হইলে কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ উহার সাহায্যে স্থানীয় ভূতাত্ত্বিক বৈশিষ্ট্যগুলির অধ্যয়ন করেন, নচেৎ তিনি ঐ স্থান সরেজমিনে নিরীক্ষণ করিয়া স্থলাকৃতির মানচিত্রের উপর প্রয়োজনীয় ভূতাত্ত্বিক বিশেষত্বগুলি অঙ্কিত করেন। কিন্তু এই মানচিত্রগুলি ভূপৃষ্ঠের ভূতাত্ত্বিক বিশেষত্বসমূহ সম্বন্ধে আভাস দেয়। কারিগরী গঠনকার্য্যের জন্য ঐ স্থানের ভূনিম্নের ভূতাত্ত্বিক বৈশিষ্ট্যগুলি জানিবার প্রয়োজন হয়। ভূছিদ্রকরণ (Drilling), খনন (Pitting) এবং ভূপদার্থিক (Geophysical) পদ্ধতির সাহায্যে এই সকল ভূনিম্নের তথ্য আহরিত হয় এবং ঐগুলি ভূতাত্ত্বিক মানচিত্রের অন্তর্ভুক্ত করা হয়।

আকাশ-চিত্র (Aerial photo)—পূর্বে বহু অগম্য স্থানের এবং দুরারোহ পর্বতমালার মানচিত্র প্রস্তুত করা একটা কঠিন সমস্যার ব্যাপার ছিল এবং এই মানচিত্রের নির্ভুলতা নিম্নমানের হইত। বর্তমানে এই সব স্থানের আকাশ-চিত্র প্রস্তুত করা হয় এবং ইহার দ্বারা প্রাকৃতিক ভূতত্ত্ব সম্বন্ধে জ্ঞানাবলীর আহরণ সহজসাধ্য হয়। তবে এই সকল আকাশ-চিত্রের সঠিক ব্যাখ্যা করা কিছুটা কঠিন এবং অভ্যাসসাপেক্ষ। কার্য্যক্ষেত্রে বর্তমানে দেখা যায় যে আকাশ-চিত্র ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান কার্য্যে বিশেষ সহায়তা করে। এই আকাশ-চিত্রের সাহায্যে জলবিভাজিকা (Watershed), আবহক্ষেত্র (Catchment area), ভাঁজ (Fold), চ্যুতি (Fault), সন্ধি (Joint), উৎক্রম (Thrust) প্রভৃতি বিষয়গুলির তথ্য আহরণ অপেক্ষাকৃত সহজসাধ্য হয়। গভীর জঙ্গলাবৃত স্থানে চ্যুতির অবস্থান নির্ণয়ে আকাশ-চিত্রের অবদান আছে।

গঠনের জন্য নির্ধারিত স্থানের ভূতাত্ত্বিক মানচিত্রের উপর ভূস্তরের উপরোক্ত ভূতাত্ত্বিক বৈশিষ্ট্যগুলি কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ সরেজমিনে নিরীক্ষণ করেন। জলবিভাজিকা অথবা আবহক্ষেত্রের বিশ্লেষণ আঞ্চলিক (Regional) হিসাবে করা হয়। ভূতাত্ত্বিক বৈশিষ্ট্যগুলির অনুসন্ধানও বৃহত্তর এলাকার ভিত্তিতে করা হয়। নিম্নে ঐ সকল বৈশিষ্ট্যগুলির অনুসন্ধান সম্বন্ধে বিশদভাবে আলোচনা করা হইয়াছে।

ভাঁজ (বলি)—কারিগরী গঠনের জন্য নির্ধারিত স্থান যদি শিলাময় (Rocky) হয়, সেক্ষেত্রে অনুসন্ধানের বিশেষ দ্রষ্টব্য বিষয় হইতেছে যে ঐ শিলাসংস্তর (Rock bed) ত্রুটীশূন্য কি না। প্রথমে শিলাসংস্তরে

ভাঁজের অনুসন্ধান করা হয়। পাললিক শিলার (Sedimentary rock) ইহা একটি বিশেষ চরিত্র এবং কদাচিৎ ইহার ব্যতিক্রম ঘটে। ভূস্তর অনুভূমিক (Horizontal) এবং উর্ধ্বাধ (Vertical) চাপের (Pressure) দ্বারা পিষ্ট হইলে ভাঁজের সৃষ্টি হয়। অনেকস্থলে দেখা যায় যে শিলাস্তরগুলি একই দিকে সমানভাবে আনত (Inclined), কিন্তু এই শিলাগুলি যদি পাললিক শিলাভুক্ত হয় এবং ভূনিম্নে ঐ স্তরগুলির কোন অংশ বসিয়া যায়, তাহা হইলে উপরের স্তরগুলিতে অল্প ভাঁজের সৃষ্টি হয়। এই জাতীয় ভাঁজকে একনতি (Monocline) বলা হয়। অধিকাংশ ক্ষেত্রে শিলাস্তরগুলিতে অনুভূমিক চাপের দ্বারা উর্ধ্বভাজিক (Anticlinal) এবং অভিনত (Synclinal) ভাঁজের সৃষ্টি হয়। অনেক সময়ে এই দুই প্রকারের ভাঁজ স্বতন্ত্রভাবে দেখা যায়; আবার কখনও কখনও ইহারা একে অন্যের সহিত অবিচ্ছেদ্য অংশরূপে থাকে।

কারিগরী গঠনকার্য্যের স্থান নির্ণয়ের সময়ে বিশেষজ্ঞ এই শিলাস্তরে ভাঁজ আছে কি না তাহার অনুসন্ধান করেন। সাধারণত: উদ্‌ভেদের (Outcrop) সুস্পষ্ট আনতির (Flexure) দ্বারা এই ভাঁজ চিহ্নিত হয়। অথবা শিলাসংস্তরের নতি (Dip) এবং অনুদৈর্ঘ্য (Strike) এই দুই বিশেষত্বের মাপ নির্ণয় করিয়া ভাঁজের উপস্থিতি প্রমাণ করা হয় এবং ঐ স্থানের ভূতাত্ত্বিক মানচিত্রে ঐ সকল তথ্য অঙ্কিত করা হয়। বেশীর ভাগ ক্ষেত্রে উর্ধ্বভঙ্গের (Anticline) ভাঁজশীর্ষে (Crest of the fold) ফাটল দেখা যায় এবং শিলাস্তরের ভাঁজবাহুতে (Limbs of fold) স্থানচ্যুতির প্রবণতা উপলব্ধি করা হয়। এইসব স্থানে কোন ভারী গঠন কার্য্য আরম্ভ করার পূর্বে সমুচিত নিরাপত্তা ব্যবস্থা অবলম্বন করা অবশ্য কর্তব্য।

কারিগরী গঠন কার্য্যে শিলাসংস্তরের নানারূপ ভাঁজের মধ্যে অভিনতি (Syncline) বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ স্থান অধিকার করে। দেখা গেছে যে এই অভিনত ভাঁজের মধ্যে জলীয় পদার্থের সঞ্চারণ খুব সহজ সাধ্য হয় এবং অবস্থাবিশেষে ইহা বিভিন্ন স্তরের মধ্যে জল সংরক্ষণ করে। সুতরাং গঠনকার্য্যে এই জলবাহী স্তরগুলি বিশেষ অসুবিধার সৃষ্টি করে। যে কোন গঠনের ভিত্তিস্থাপনের হেতু নির্ধারিত স্থানে খননকার্য্য চালাইতে হয় এবং এই স্থানে অভিনত ভাঁজের উপস্থিতির জন্য অনেক সময়ে গুরুতর জলসঞ্চারণজনিত অসুবিধার সম্মুখীন হইতে হয়। গঠনকার্য্যে ভাঁজ–জনিত বিপত্তির বিষয়ে পরে বিশদরূপে আলোচনা করা হইয়াছে।

সন্ধি (Joint)—শিলাসংস্তরের গুণাগুণের অনুসন্ধানে সন্ধিসমূহের উপস্থিতি বিশেষ দৃষ্টি আকর্ষণ করে। যে কোন শিলাখণ্ডের ভঙ্গ (Fracture) অবস্থা পরীক্ষা করিলে দেখা যায় উহার সৃষ্টি চাপের পীড়নে (Stress) যে টানের (Strain) উদ্ভব হয় তাহার উপরেই নির্ভর করে। এই পীড়নের মাত্রা যখন শিলাখণ্ডের সহনের সীমা অতিক্রম করে, তখনই শিলাভঙ্গ (Fracture in rock) দেখা দেয়। শিলাসংস্তরের এই ভঙ্গ অবস্থা সময়বিশেষে কিছুদূর অবধি অবিচ্ছিন্ন ও সান্নিবদ্ধভাবে দেখা যায় এবং সুনির্দিষ্ট আকৃতি ধারণ করে। এই শিলাভঙ্গের সমন্বয়কে সন্ধির আখ্যা দেওয়া হয়। শিলাসন্ধির (Joint in rock) প্রসারণ অনেক সময়ে নির্দিষ্ট থাকে না। কিন্তু ইহার বহুলাংশে উপস্থিতি গঠন কার্য্যের পরিপন্থী, কারণ সন্ধিবহুল শিলাসংস্তরের ভারবহন ক্ষমতা অপেক্ষাকৃত কম হয় এবং ভিত্তিস্থাপনায় অসুবিধার সৃষ্টি করে।

চ্যুতি (Fault)—শিলাসংস্তরের ভঙ্গ হইলে সাধারণতঃ ঐ বিচ্ছিন্ন অংশগুলির বিস্থাপন (Displacement) ঘটে এবং এই বিস্থাপন কোন একটা তল (Plane) বরাবর অনুভূমিক বা উর্ধ্বাধ কিংবা উভয়দিকেই হয়। এই বিস্থাপনকে ভূবিদ্যায় চ্যুতি আখ্যা দেওয়া হয়। বাস্তবক্ষেত্রে এই বিস্থাপন কখনই কোন একটা তলে সীমাবদ্ধ থাকে না, তথাপি এই তলকে সাধারণতঃ চ্যুতিতল (Fault plane) বলে। শিলাস্তরের উপর উর্ধ্বাধ চাপের মাত্রা যদি সীমা অতিক্রম করে, তাহা হইলে উহাতে ভাঙ্গন ধরে এবং তাহার ফলে এই ভাঙ্গনের এক দিকের অংশ অপর দিকের অংশ হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া এই চ্যুতিতল বরাবর নীচে বসিয়া যায়। এইরূপ বিস্থাপনকেই স্বাভাবিক চ্যুতি বলে এবং এইক্ষেত্রে চ্যুতিতলের নতি 45° ডিগ্রীর বেশী হয়। কিন্তু যদি অনুভূমিক চাপের প্রভাবে শিলাস্তরে ভাঙ্গন ধরে এবং চ্যুতি ঘটে, সেক্ষেত্রে এই চ্যুতিতলের নতি 45° ডিগ্রীর কম হয় এবং এইরূপ চ্যুতিকে উৎক্রম (Thrust) চ্যুতি বলা হয়।

শিলাসংস্তরের উদ্‌ভেদ (Outcrop) দৃষ্ট হইলে তাহাতে চ্যুতির অবস্থান সম্বন্ধে সহজেই অনুসন্ধান করা যায়, কারণ স্তরায়িত (Stratified) শিলাসমূহে স্তরের স্থানচ্যুতি হইতে ইহা প্রমাণিত হয়। কিন্তু এই চ্যুতি যদি আয়ামচ্যুতি (Strike fault) শ্রেণীভুক্ত হয়, সেক্ষেত্রে ইহার অবস্থান নির্ণয়ে কিছুটা অসুবিধা হয়। এক্ষেত্রে দুই স্তরের মধ্যে ঘর্ষণের দাগ এবং চূর্ণীভূত (Pulverised) ও খণ্ডীকৃত (Brecciated) প্রস্তরের

উপস্থিতি হইতে চ্যুতিমণ্ডলের (Faulted zone) অবস্থান নির্ণয় করা হয়। কারিগরী গঠনকার্য্যে চ্যুতির অবস্থান নির্ণয় অতি অবশ্য কর্ত্তব্য ; বিশেষতঃ যদি এই চ্যুতি উৎকষজনিত হয়। চ্যুতির অনুসন্ধান সাধারণতঃ সহজসাধ্য নয় এবং ভূপৃষ্ঠে অনুসন্ধান অনেক সময়ে সফল হয় না, কারণ ইহা অনেক নিচে অবধি মাটিতে ঢাকা থাকে। অনেক ক্ষেত্রে ভিত্তি স্থাপন হেতু খনন কার্য্য গভীর তলদেশ অবধি প্রসারিত হইবার পর সেই স্থানে চ্যুতির অবস্থান পরিলক্ষিত হয় এবং ফলে ঐ স্থান বর্জ্জিত হয় অথবা নিরূপিত মূল্যের অনেক বেশী ব্যয় করিয়া গঠনকার্য্যের সমাধান করা হয়।

যদি কোন গঠনকার্য্যে নিযুক্ত ইঞ্জিনীয়ারগণ ঐ গঠনের নির্ধারিত স্থানে চ্যুতির উপস্থিতি সম্বন্ধে জানিতে পারেন, উহা তাঁহাদের বিশেষ চিন্তার কারণ হয়। এই চ্যুতি এখনও সক্রিয় (Active) অথবা নিষ্ক্রিয় (Dead) উহা জানার বিশেষ প্রয়োজন হয়। যদি জ্ঞানতঃ এই চ্যুতিতলে স্থানচ্যুতির কোন হিসাব লিপিবদ্ধ থাকে, তাহা হইলে ইহাকে সক্রিয় চ্যুতির পর্য্যায়ভুক্ত করা হয় এবং ভবিষ্যতে যে কোন সময়ে ঐ চ্যুতিমণ্ডলে আবার বিস্থাপন ঘটিতে পারে। যদি কোন চ্যুতিমণ্ডলে বিস্থাপনের বিষয়ে মানবজীবনের ইতিহাসে কিছু লিপিবদ্ধ না থাকে, তাহা হইলেও উহাকে একেবারে নিষ্ক্রিয় বলিয়া ধরা যায় না। ইঞ্জিনীয়ারিং বা ভূতাত্ত্বিক অনু-সন্ধানের দ্বারা ইহা স্থির করা সম্ভব নহে। যে কোন নিষ্ক্রিয় চ্যুতিতল ভূমিকম্প হেতু অথবা টান (Strain) সৃষ্টির জন্য পুনরায় সক্রিয় হইয়া উঠিতে পারে। সুতরাং চ্যুতিমণ্ডলে কোন ভারী গঠনকার্য্যের সময়ে এই সকল প্রাকৃতিক বাধা বিপত্তির দূরীকরণে সমুচিত ব্যবস্থা গ্রহণ করা অবশ্য কর্ত্তব্য।

চতুর্থ অধ্যায়

ভূনিম্নে কারিগরী ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান

এই অধ্যায়ে ভূনিম্নে (Subsurface) কারিগরী ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানের বিষয়ে বিস্তারিত আলোচনা করা হইতেছে। পূর্ব অধ্যায়ে বলা হইয়াছে যে ভূপৃষ্ঠে অনুসন্ধানের দ্বারা যে কোন স্থানের স্থায়িত্ব সম্বন্ধে পূর্ণ আস্থা লাভ করা যায় না। সুতরাং ঐ স্থানে ভূনিম্নে ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানের প্রয়োজন হয়। এই অনুসন্ধান সাধারণতঃ খনন (Excavation), ভূছিদ্রকরণ (Drilling) এবং ভূপদার্থিক (Geophysical) পদ্ধতি ইত্যাদির সাহায্যে করা হয়। এই সকল অনুসন্ধান পদ্ধতি নিম্নে বিশদরূপে বর্ণিত হইয়াছে।

খনন (Excavation)—যে সকল পরিকল্পনায় গঠনের (Structure) স্থায়িত্ব নির্ণয়ে ভূপৃষ্ঠের অল্প কিছু নীচের অবস্থার অনুসন্ধানের প্রয়োজন হয় এবং ঐ মনোনীত স্থান মৃত্তিকা (Soil) দ্বারা আচ্ছাদিত থাকে, সে ক্ষেত্রে সাধারণতঃ ঐ মনোনীত স্থানে নালী (Trench) কাটিয়া অথবা গভীর গর্ত (Pit) খনন করিয়া তলদেশের অনুসন্ধান করা হয়। অনেক-স্থলে মনোনীত স্থানের আশে-পাশে শিলাসংস্তরের উদ্‌ভেদ থাকিলেও ঐ স্থান মৃত্তিকার দ্বারা আচ্ছাদিত থাকে। সুতরাং ঐ ক্ষেত্রে পরিকল্পিত গঠনের ভিত্তি শিলাস্তরে ন্যস্ত হওয়া বাঞ্ছনীয় হইলে কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ ঐ স্থানে নালী কাটিয়া অথবা অপেক্ষাকৃত গভীর গর্ত খনন করিয়া কঠিন ও সংহত (Massive) শিলাস্তর অবধি পৌঁছিবার ব্যবস্থা করেন। কিন্তু এই নালী ও গর্তের গভীরতার একটা সীমা বর্ণিত থাকে। অনু-সন্ধানের জন্য সাধারণতঃ নালীর প্রস্থ এক হইতে তিন মিটার অবধি হয় এবং চার থেকে পাঁচ মিটার অবধি গভীর হয়। নালীর দৈর্ঘ্যের সীমা স্থানীয় অবস্থা বিশেষে কম বেশী হয়। নালী কাটিয়া পাতালিক (Subsur-face) অনুসন্ধানের কয়েকটা বিশেষ সুবিধা আছে, যথা—(a) মৃত্তিকাস্তরের অবিচ্ছিন্ন পার্শ্বদৃশ্য (Profile) পাওয়া সম্ভব হয় ; (b) কঠিন ও সংহত শিলাস্তর অবধি পৌঁছিলে ঐ শিলাস্তরের সহিত অবঘাতের (Overburden) সংযোগস্থল এবং শিলাস্তরের কাটল ও সন্ধিসমূহ পরীক্ষা করা সম্ভব হয় এবং (c) মৃত্তিকার বিভিন্ন স্তরের নমুনা সংগ্রহের সুযোগ পাওয়া যায়।

গভীর গর্ত বা কূপ খনন করিয়াও এইরূপ পরীক্ষাকার্য্য চালান হয় এবং এইরূপ গর্ত সাধারণতঃ দৈর্ঘ্যে ও প্রস্থে এক মিটারের কিছু বেশী হয়। তবে প্রয়োজন বোধে ইহা দুই মিটার প্রস্থের ও তিন মিটার দৈর্ঘ্যের হয়। কিন্তু গভীরতায় এই সকল পরীক্ষা কূপ (Test pit) অনেক বেশী হইতে পারে এবং তখন ঐগুলি খনিকর্মের (Mining) বিধি নিষেধের গণ্ডীর মধ্যে আসে। নালী বা কূপের পাশগুলি (দেওয়াল) ধ্বসিয়া পড়ার সম্ভাবনা থাকে, বিশেষতঃ মৃত্তিকা যদি নরম হয় এবং তাহার সংসক্তি (Cohesion) নিম্ন মানের হয়। এইহেতু নালী বা কূপের দেওয়ালগুলিকে কাঠের তক্তা বা ইস্পাতের চাদর (Steel sheet) দ্বারা বন্ধন দেওয়া হয়। তবে এই নালী বা কূপ খননের সাহায্যে পাতালিক অনুসন্ধানের কার্য্য জলপীঠের (Water table) উপস্থিতির জন্য ব্যাহত হয়, কারণ এই জলপীঠের নিম্নদেশে খনন কার্য্য সম্প্রসারণ করিতে হইলে ক্রমাগত ঐ ভূজলের (Groundwater) উৎক্ষেপণ করিতে হয় এবং উহা বিশেষ ব্যয়সাধ্য হইয়া পড়ে।

ভূছিদ্রকরণ (Drilling)—সকলপ্রকার পাতালিক অনুসন্ধান পদ্ধতির মধ্যে ভূছিদ্রকরণ অগ্রগণ্যের স্থান পায়, কারণ এই পদ্ধতির দ্বারা মনোনীত স্থানের শিলা বা মৃত্তিকার নমুনা সংগ্রহ করা সহজসাধ্য হয়। ইহার দ্বারা কেবলমাত্র যে ভূতলস্থ পদার্থের গুণাগুণের সন্ধান পাওয়া যায় তাহাই নহে, ভূছিদ্রকরণের সময়ে নিম্নদিকে অগ্রসরকালীন যে প্রতিরোধের সম্মুখীন হইতে হয় তাহাতে ঐ স্থানের মৃত্তিকার ঘনত্ব এবং কাঠিন্যের আভাস পাওয়া যায়। কিন্তু এই পদ্ধতি অবলম্বন সংশ্লিষ্ট পরিকল্পনার ব্যয়ের মাত্রার উপর নির্ভর করে। ইহা ছাড়াও মনোনীত স্থানে কোন্ অনুসন্ধান পদ্ধতি অবলম্বন করা হইবে তাহা ঐ স্থানের ভূতাত্ত্বিক বৈশিষ্ট্যের উপর বহুলাংশে নির্ভরশীল। অনেকক্ষেত্রে প্রথমে সাউণ্ডিং (Sounding) দ্বারা পাতালিক অনুসন্ধান আরম্ভ করা হয়। এই পদ্ধতিতে ভূছিদ্র না করিয়া ঐ জমিতে জোরপূর্বক একটি শলাকাবৎ দণ্ড বৃহদাকার মুগুরের (Sledge hammer) সাহায্যে অথবা কোন গুরুভারের ধাক্কার দ্বারা জমিতে প্রবেশ করান হয়। ঐ কার্য্য হইতে সেই স্থানের প্রতিরোধ-ক্ষমতার মান নিরূপণ করা হয় এবং ইহাতে ঐ স্থানের মৃত্তিকা নরম কি কঠিন তাহার একটা আভাস মোটামুটি পাওয়া যায়। তবে এই পদ্ধতি অপেক্ষাকৃত নরম জমিতে এবং ভূপৃষ্ঠ হইতে অল্প কিছু নিম্নদেশ অবধি প্রযোজ্য।

ভূছিদ্র (Bore holes বা Drill holes) অনুভূমিক, আনত এবং উর্ধ্বাধ এই তিনদিকেই করা সম্ভব। তবে সাধারণতঃ উহা উর্ধ্বাধ এবং আনত দিকে করা হয়। ভূছিদ্র কয়েক পদ্ধতিতে এবং বিভিন্ন প্রকারের ড্রিল (Drill) যন্ত্রাদির সাহায্যে সম্পন্ন হয়। কঠিন শিলাস্তরে গভীর ছিদ্রের জন্য শক্তি চালিত ড্রিল যন্ত্রের প্রয়োজন হয়। কিন্তু অপেক্ষাকৃত নরম জমিতে অগভীর ছিদ্রকরণের জন্য হস্তচালিত ড্রিল (Auger drill) যন্ত্রের ব্যবহার হয়। এই সকল যন্ত্রের এবং তাহাদের ব্যবহার পদ্ধতি সম্বন্ধে নিম্নে সংক্ষিপ্তভাবে আলোচনা করা হইতেছে।

প্রথমেই Auger drill সম্বন্ধে কিছু বলা যাক্। ইহা মুখ্যতঃ হস্তচালিত। এই যন্ত্র বস্তুতঃ ছুতার মিস্ত্রী কাঠে গর্ত করিবার জন্য যে auger ব্যবহার করে তাহারই বৃহৎ সংস্করণমাত্র। এই হস্তচালিত auger drill দ্বারা মৃত্তিকা আচ্ছাদনের প্রায় দুই মিটার বেধ (Depth) অবধি অনুসন্ধান করা যায়। ইহা দশ হইতে পনর সেন্টিমিটার ব্যাসের গর্ত করিতে সক্ষম হয়, অবশ্য প্রয়োজন বোধে ইহার বেশী ব্যাসের গর্তও করা যায়। এই auger drill ইস্ক্রুপের আকারের এবং ইহার অগ্রভাগে মৃত্তিকার নমুনা আহরণের ব্যবস্থা থাকে। ভূছিদ্রকরণের জন্য সচরাচর দেড় মিটার লম্বা লৌহ দণ্ডের এক প্রান্তে এই auger আঁটা থাকে। এই drill সাধারণতঃ দুই ব্যক্তির সাহায্যে ঘুরাইয়া জমির নীচে চালান হয় এবং চালাইবার সময়ে নীচের দিকে চাপ দেওয়া হয়। ছিদ্র দেড় মিটার গভীর হইলে ঐ লৌহদণ্ডের অপরদিকে আর একটি সমান দৈর্ঘ্যের লৌহদণ্ড যোগ করা হয় এবং এইরূপে ছয় মিটার অবধি যাওয়া হয়। ছিদ্র ছয় মিটারের বেশী গভীর হইলে ঐ auger drill যন্ত্রটিকে গর্তের বাহিরে আনা বিশেষ কষ্টকর হয়। Auger-এর ব্যাস বেশী হইলে তিন হইতে চার মিটার বেধ অবধি ছিদ্র করা সম্ভব হয়। এই auger drill এর দ্বারা জলপীঠের উপর অবধি বেশ পরিষ্কার এবং শুষ্ক ছিদ্র করা যায়। ছিদ্রকরণের সময়ে যে সকল কর্তিত মৃত্তিকা (Cuttings) সংগ্রহ করা হয়, সেগুলি যদিও তাহাদের সঠিক স্থান নির্ণয়ে সহায়তা করে না, তথাপি ঐ পদার্থ সমূহের সনাক্তকরণে (Identification) সাহায্য করে। হস্তচালিত auger drill যে স্থানে নিয়োগ করা হয়, সেই স্থানের জলপীঠের বেধ এই ড্রিলের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। Auger drill শক্তি চালিত করা যায়, তবে ইহাও খুব বেশী গভীর ছিদ্র করিতে সমর্থ হয় না। মৃত্তিকা এঁটেলা (Sticky) অবস্থাপ্রাপ্ত হইলে বা উহাতে প্রস্তর

জাতীয় নুড়ি মিশ্রিত থাকিলে auger-এর সাহায্যে ছিদ্রকরণে বিশেষ অসুবিধা হয়। তথাপি কার্যক্ষেত্রে দেখা গিয়াছে যে যেখানে ভূছিদ্রকরণের সময়ে cuttings কোন স্তরের তাহা নির্ধারণ বা উহার অটুট অবস্থায় সংগ্রহের আবশ্যকতা থাকে না, সে স্থলে সম্ভব হইলে প্রায় তিরিশ মিটার গভীর ছিদ্রও এই auger drill দ্বারা করা হয়, কারণ ইহার ব্যয়ের মাত্রা অন্যান্য শক্তিচালিত ড্রিলযন্ত্রের ব্যবহারের ব্যয় অপেক্ষা অনেক কম।

শক্তিচালিত ড্রিলযন্ত্রসকলের মধ্যে ঘূর্ণ্যমান (Rotary) ড্রিল বেশী ব্যবহৃত হয়। ইহা পেট্রল বা ডিজেল চালিত মোটর দ্বারা বেশ জোরে ঘুরিতে ঘুরিতে ভূতলে প্রবেশ করে এবং সেই কারণে ইহাকে রোটারী ড্রিল আখ্যা দেওয়া হয়। এইভাবে ঘুরিতে ঘুরিতে কঠিন মৃত্তিকা বা শিলাস্তর কাটিয়া ছিদ্র করে এবং ভূতলে প্রবেশকালে ঐ কর্তিত মৃত্তিকা বা পাথর সংরক্ষণ করিয়া রাখে। ইহাকে Core বলা হয় এবং সেই কারণে এই যন্ত্রের আর একটি নাম Core drill। তবে এই ড্রিল যন্ত্র কঠিন শিলাস্তরে ছিদ্রকরণের জন্য বেশী উপযোগী। Core drill যন্ত্রে একটি লৌহদণ্ড (Drill rod) থাকে এবং তাহার একপ্রান্তে drill bit লাগান থাকে। এই লৌহদণ্ডটি ফাঁপা এবং ইহা একটি দন্তবিশিষ্ট চক্রের (Gear) সাহায্যে মোটর চালাইয়া ঘোরান হয়; ঘুরিবার সময়ে দণ্ডটির উপরে চাপ-সৃষ্টি করা হয়। ফলে drill bit টা জমির ভিতরে প্রবেশ আরম্ভ করে এবং ক্রমশঃ গভীরতর হইতে গভীরতম বেধে পৌঁছায়। এইভাবে ভূতলে প্রবেশকালে ঐ drill bit যে মৃত্তিকা শিলাস্তরের সম্মুখীন হয় তাহাকে কর্তন বা চূর্ণ করিয়া অগ্রসর হইতে থাকে। ছিদ্রকরণ কাজ অগ্রসর হইতে থাকিলে ঐ গর্তের মধ্য হইতে কর্তিত মৃত্তিকা বা শিলাখণ্ডসমহ অপসারণের প্রয়োজন হয়। কঠিন মৃত্তিকা বা শিলাস্তরে Core drill যন্ত্রের সাহায্যে ছিদ্রকরণের মুখ্য উদ্দেশ্য ঐ স্থানের Core যতদূর সম্ভব অক্ষত অবস্থায় উদ্ধার করা। কারণ কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ এই Core-এর নমুনা পরীক্ষা করিয়া ঐ স্থানের স্থায়িত্ব সম্বন্ধে তাঁহার মতামত প্রকাশ করেন। Core যতটা অক্ষত অবস্থায় উদ্ধার করা যায় সে বিষয়ে ড্রিল চালক বিশেষ যত্নবান হন। এই Core উদ্ধার করিবার জন্য গোলাকৃতি দীর্ঘ চুঙ্গী (Core barrel) ব্যবহৃত হয় এবং drill bit এই চুঙ্গীর তলদেশে লাগান হয়। এই Core barrel এক বা দুই নলীবিশিষ্ট হয়। শেষোক্তটিতে ভিতরের নলীতে Core

সংরক্ষিত হয় এবং ইহা বাহিরের নলীটির সাথে ঘুরিতে থাকে না। এক্ষেত্রে drill bit বাহিরের নলীটিতে লাগান হয়। এই drill bit সাধারণতঃ কয়েক প্রকারের হয়, যথা—(a) হীরক-খচিত bit, (b) Tungsten carbide নির্মিত bit ; এবং (c) ইস্পাত নির্মিত দন্তবিশিষ্ট cutter। হীরক-খচিত bit প্রস্তুতের সময়ে হীরকের টুকরাগুলি স্থায়ীভাবে ঐ bit-এ বসান হয়। এই হীরকগুলি ব্যবহারের দ্বারা ক্ষয়প্রাপ্ত হইলে সেগুলিকে অপসারণ এবং ঐ স্থলে নূতন হীরকের টুকরা বসাইয়া আবার ঐ bit গুলিকে কার্য্যক্ষম করা হয়। এই হীরকগুলি কৃষ্ণ হীরক (Black diamond) সম্প্রদায়ের এবং প্রাকৃতিক বা কৃত্রিম উভয় প্রকারেরই হয়। তবে প্রাকৃতিক হীরক-খচিত bit বেশী কার্য্যকরী। Tungsten carbide নির্মিত bit গুলি এবং ইস্পাত নির্মিত দাঁতগুলিও কার্যক্রমে ক্ষয়প্রাপ্ত হইলে ঐগুলিকে বদল করিয়া bit গুলিকে পুনরায় কার্য্যক্ষম করিয়া লওয়া হয়।

Core-এর ব্যাস সাধারণতঃ চারি মাপের হয়, যথা— (i) EX ; (ii) AX ; (iii) BX ; এবং (iv) NX এবং তাহাদের মাপ যথাক্রমে $\frac{7}{8}$, $1\frac{3}{16}$, $1\frac{5}{8}$ এবং $2\frac{1}{8}$ ইঞ্চি হয়। তবে AX এবং BX মাপের Core বেশী ব্যবহৃত হয়। ছিদ্রকরণে যত বেশী ব্যাসের Core কাটিয়া উদ্ধার করা সম্ভব সেইটাই বাঞ্ছনীয়। তবে উহা ব্যয় সাপেক্ষ কারণ বেশী ব্যাসের Core drill-এর সাহায্যে ভূতলে শিলাস্তরের সন্ধি বা ভাঙ্গনের অবস্থা অধিকতর নিশ্চয়তার সহিত জানা যায়। অনেকক্ষেত্রে সন্ধি বা ভাঙ্গন হেতু শিলাখণ্ডের বিদারণ বেশী হওয়ায় অল্প ব্যাসের Core drill-এর দ্বারা তাহার নির্ধারণ সম্ভব হয় না। কার্য্যক্ষেত্রে দেখা গিয়াছে যে ঐ শিলাখণ্ডে বিদারণের মাপ Core drill-এর ব্যাসের মাপ অপেক্ষা বেশী হওয়ায় ঐ বিদারণজনিত গর্তের মধ্যে ড্রিলদণ্ড প্রবেশ করিয়াছে এবং ভুল তথ্য সংগৃহীত হইয়াছে। অবশ্য ভূছিদ্র যদি খুব বেশী বেধের করিতে হয়, সেক্ষেত্রে বেধের বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে ছিদ্রের মাপও কম করা হয় এবং NX Core দিয়া আরম্ভ করিয়া ত্রিশ মিটারের মধ্যেই ছিদ্রের মাপ BX Core-এর মাপে করা হয়।

হীরক-খচিত bit-এর দ্বারা ছিদ্রকরণ অনেক বেশী পরিষ্কার হয় এবং Core সংরক্ষণের মাত্রাও বৃদ্ধি পায়। হীরক-খচিত bit এবং Tungsten carbide নির্মিত bit ছাড়াও ছিদ্রকরণের জন্য ইস্পাত নির্মিত গুলি

(Chilled shot) ব্যবহার করা হয়। তবে এই chilled shot সমূহ drill bit-এ আঁটা হয় না। তাহার পরিবর্তে ঐ shot গুলি drill bit এবং কিছুটা কর্তিত মৃত্তিকাচ্ছাদন বা শিলার মধ্যে রাখা হয়। Drill bit এর ঘুরিবার সাথে সাথে shot গুলি জোরে ঘুরিতে থাকে এবং এই প্রথায় মৃত্তিকা বা অপেক্ষাকৃত নরম শিলাস্তর কাটিতে সাহায্য করে। এই পদ্ধতির ছিদ্রকরণের যন্ত্রকে "Calyx" ড্রিল আখ্যা দেওয়া হয় এবং ইহাতে ছিদ্রের ব্যাস 75 সেন্টিমিটার বা ততোধিক হয়।

অতিশয় গুরুভারের গঠনগুলি, যথা—বড় বড় বাঁধ, সেতু, বিদ্যুৎ-শক্তি উৎপাদন গৃহ এবং বৃহৎ অট্টালিকাসমূহের ভিত্তিস্থানের স্থায়িত্ব অনুসন্ধানে ভূতলের শিলাস্তরে এবং মৃত্তিকাচ্ছাদনে Core drilling অবশ্য কর্তব্য। তবে এই ছিদ্রকরণের বেধ কত হইবে উহা ঐ স্থানের ভূতাত্ত্বিক বৈশিষ্ট্য ও গঠনের ভারের উপর নির্ভর করে। Rotary বা Core drilling-এর পদ্ধতি সম্বন্ধে কিছু জানা আবশ্যক। প্রথমে, যে স্থান ছিদ্রকরণের জন্য চিহ্নিত হয় সেইস্থানে চারপায়া অথবা তিনপায়া বিশিষ্ট একটি ভারোত্তলনকারী সরঞ্জাম (কপিকল) বসান হয়। ইহাকে derrick আখ্যা দেওয়া হয়। এই derrick-এ লাগান মোটা দড়ি বা ইস্পাতের তার (Steel wire rope) এর সাহায্যে drill rod, core barrel ইত্যাদি যথাস্থানে নিয়োগ করা বা ভূছিদ্র হইতে তোলা হয়। সমতলভূমিতে ছিদ্রকরণের জন্য অনেক সময়ে ড্রিল যন্ত্রটি derrick সহ মোটর লরী অথবা trailer-এ বসান অবস্থায় ঐ চিহ্নিতস্থানে লইয়া যাওয়া হয়। শক্তিচালিত এই rotary drill বেশ জোরে ঘুরিতে ঘুরিতে মৃত্তিকাচ্ছাদন বা শিলাস্তরকে bit এর সাহায্যে কাটিতে থাকে এবং core barrel টি ক্রমশঃ ভূছিদ্রে নামিতে থাকে। কিন্তু এই ঘর্ষণের ফলে অধিক মাত্রায় তাপের সৃষ্টি হয় এবং ইহার প্রতিরোধকল্পে ঠাণ্ডা জল ঐ drill rod টির মধ্যে সজোরে প্রবেশ করাইয়া drill bit-কে ঠাণ্ডা রাখা হয় ও কর্তিত মৃত্তিকা বা চূর্ণীভূত প্রস্তরসমূহকে core barrel-এর গাত্র হইতে ধৌত করিয়া উপরের দিকে আনা হয়। Core barrel-এর ভিতরে যে কর্তিত core চূর্ণীভূত অথবা অক্ষত অবস্থায় থাকে সেগুলিই ঐ স্থানের ভূতলস্থ মৃত্তিকা বা শিলাস্তরের নমুনা এবং সেইকারণে এই core barrel কে core sampler নামেও অভিহিত করা হয়। Drill rod দৈর্ঘ্যে সাধারণতঃ ছয় মিটার হয় এবং ভূছিদ্রের বেধ যেমন বৃদ্ধি পাইতে থাকে, সাথে সাথে একটি drill rod-এর উপরিভাগে আর একটি drill rod যোগ

করা হয়। Core barrel-টি পূর্ণমাত্রায় ভূগর্ভে প্রবেশ করিলে সেটাকে জমির উপরে তুলিয়া core-টি বাহির করা হয়। Rotary drilling-এ core barrel-টি অধিক বেগে ঘোরার জন্য এবং তাহার ভিতরে সজোরে জলপ্রয়োগ হেতু ভিতরস্থ কর্তিত মৃত্তিকার core এলোমেলো (Disturbed) হইয়া পড়ে। সে কারণ core-এর যথাযথ নমুনা সংগ্রহে বিঘ্ন ঘটে। তবে সংসক্তিপূর্ণ (Cohesive) মৃত্তিকাস্তরের নমুনা সংগ্রহ কিয়দংশে সম্ভব হয়। অবস্থা বিশেষে কখনও কখনও core drilling-এ জলপ্রয়োগ না করিয়া তৎপরিবর্তে অধিক চাপে বাতাস সঞ্চালন করা হয় এবং এই উপায়ে cuttings অপসারণ করা হয়। Core barrel হতে উদ্ধৃত core-এর পরিমাণকে core run আখ্যা দেওয়া হয় এবং core barrel-টি পুনবার ভূছিদ্রে নামান হয়। প্রতিবারে core run-এর মাত্রা সমান হয় না। এই উদ্ধৃত core বিশেষ রূপে তৈয়ারী বাক্সে রাখা হয়। এই বাক্সে কয়েকটি লম্বা এবং সরু খাঁজ থাকে, যাহার ভিতরে সর্বপ্রথমে উদ্ধৃত core হইতে আরম্ভ করিয়া পর্য্যায়ক্রমে উদ্ধৃত অংশ সমূহের সংরক্ষণ করা হয় এবং এইগুলির পরীক্ষা ও বিশ্লেষণ করিয়া বিশেষজ্ঞগণ তাঁহাদের মতামত প্রকাশ করেন। কতটা ভূছিদ্র হইতে কতটা core উদ্ধৃত হইয়াছে উহার অনুপাতকে (Ratio) core recovery বলা হয় এবং উহা সাধারণতঃ শতাংশের হিসাবে লিপিবদ্ধ করা হয়।

ভূছিদ্রকরণের সময়ে জলপীঠের উপরিভাগ অবধি ছোট ব্যাসের গর্তগুলির দেওয়াল সাধারণতঃ বেশ পরিষ্কার ও স্থায়ী (Stable) থাকে। কিন্তু গর্তের ব্যাস এবং বেধ বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে এবং বিশেষতঃ সংসক্তিশূন্য মৃত্তিকাস্তর ভেদ করিবার সময়ে ঐ সকল গর্তের (Drill hole) দেওয়ালগুলি অনেক ক্ষেত্রে ধ্বসিয়া পড়ে। এই ব্যাপারে ভূজলের সহায়তা অধিকমাত্রায় পরিলক্ষিত হয়। তবে অনেক সময়ে সংসক্তিপূর্ণ মৃত্তিকাস্তরের মধ্যে অথবা নরম শিলাস্তরে ভূছিদ্রগুলি জলে ভর্তি থাকিলে দেওয়াল ধ্বসিয়া পড়ার আশঙ্কা কম থাকে, কারণ ভূছিদ্রমধ্যস্থ জলের চাপে দেওয়ালগুলি স্থিতিশীল থাকে। ইহাও দেখা গেছে যে এই জল লবণাক্ত হইলে ইহার উপকারিতা বৃদ্ধি পায়। ভূছিদ্রের এই ভঙ্গুর দেওয়ালগুলিকে ধ্বসিয়া পড়া হইতে রক্ষা করিবার জন্য একপ্রকার কৃত্রিম জলীয় পদার্থ ব্যবহৃত হয়। ইহাকে (Drilling mud) বলে এবং ইহা প্রধানতঃ bentonite নামক একটি খনিজ পদার্থকে জলে মিশ্রিত করিয়া প্রস্তুত করা হয়। এই drilling mud ভূছিদ্রে ভরিয়া দিলে উহা দেওয়ালস্থিত ভঙ্গুর মৃত্তিকাস্তরকে

আচ্ছাদিত করিয়া রাখে এবং পার্শ্ব চাপ সৃষ্টি করে। ফলে ঐ দেওয়াল-গুলির ধ্বসিয়া পড়ার প্রবণতা হ্রাস পায়। এই জাতীয় drilling mud তৈলকূপ খনন কার্য্যে (Oil-well drilling) অধিক মাত্রায় ব্যবহৃত হয়। যদিও উপরোক্ত উপায়ে ভূছিদ্রের দেওয়াল ধ্বসিয়া পড়া কতকটা নিবারণ করা যায়, তথাপি এই বিপত্তি হইতে নিশ্চিত রক্ষা পাওয়ার উপায় হিসাবে ভূছিদ্রমধ্যে ইস্পাত নির্মিত চুঙ্গি (Casing) ব্যবহার করা হয়। যদিও ইহাতে ব্যয়ের মাত্রা বৃদ্ধি পায়, তথাপি ইহার সাহায্যে ভূছিদ্রকরণ বেশ পরিষ্কার এবং সুষ্ঠুভাবে সম্পন্ন করা যায় এবং যেখানে core উদ্ধারের বিশেষ প্রয়োজন থাকে সেস্থলে এই casing ব্যবহার অপরিহার্য। এই casing দেড় মিটার হইতে তিন মিটার দীর্ঘ হয় এবং বলপূর্বক ছিদ্রমধ্যে প্রবেশ করান হয়। একটি casing অপরটির সাথে পেঁচের দ্বারা যোগ করা হয় এবং যতদূর অবধি প্রয়োজন ততদূর নামান হয়। Casing ব্যবহারের আর একটি সুবিধা এই যে ছিদ্র বিশেষের কাজ শেষ হইয়া গেলে উহাদের ভূছিদ্র হতে উত্তোলন করিয়া পুনরায় অন্যস্থানে ব্যবহার করা যায়। কোন জলাভূমিতে (Submerged area) ভূছিদ্রকরণের প্রয়োজন হইলে প্রথমে একটা মজবুত বেদী বা মঞ্চ করিয়া তদুপরি ড্রিল যন্ত্রটা বসান হয় এবং ছিদ্রকরণের আরম্ভ হইতেই casing ব্যবহৃত হয়। কিন্তু যে ক্ষেত্রে জমির উপরিভাগ বালুমিশ্রিত কাঁকর এবং ভগ্ন প্রস্তর দ্বারা আচ্ছাদিত থাকে, সে স্থলে rotary ড্রিল যন্ত্র কার্য্যকরী হয় না। কারণ এই সকল আলগা পাথরের টুকরাগুলি drill bit-এ আট্কাইয়া যায় এবং যন্ত্রটির ঘোরার পথে বিঘ্ন ঘটাইয়া drilling-এর অগ্রগতি রোধ করে। উপরন্তু drill bitগুলি অযথা ঘর্ষণহেতু শীঘ্রই ক্ষয়-প্রাপ্ত হয় এবং উহাদের কার্য্য ক্ষমতা হ্রাস পায়। এইরূপ পরিস্থিতিতে percussion বা churn drilling প্রথা অবলম্বন করা হয়। এই যন্ত্রের সাহায্যে অধিকমাত্রায় বালুকাপূর্ণ অথবা এঁটেলা (Sticky) মাটিতে ছিদ্র-করণ সহজসাধ্য হয় না, তবে আল্‌গা প্রস্তরময় মাটিতে ছিদ্রকরণে ইহা বিশেষ কার্য্যকরী, যদিও ইহার কাজের গতি মাত্রা অপেক্ষাকৃত কম। এই যন্ত্র মূলতঃ একটি কমবেশী এক মিটার দীর্ঘ অতি ভারী গোলাকৃতি ফাঁপা লৌহদণ্ডের bit যাহার উপরে খুব ভারী মুদগরের সাহায্যে ধাক্কা দেওয়া হয় এবং ইহার চাপে ঐ bit ভূগর্ভে প্রবেশ করে। এই ভারী মুদগর মোটা দড়ি বা wire rope এ বাঁধিয়া কপিকলের সাহায্যে উঠান নামান হয় এবং ইহা হস্তচালিত অথবা শক্তি চালিতও হইয়া থাকে।

প্রয়োজনবোধে ভূপৃষ্ঠের উপরিভাগে প্রথমে percussion drill-এর সাহায্যে কিছুটা ছিদ্র করিবার পর rotary (Core) drilling করা হয়।

এক একটি drill hole-এ যে ব্যয় হয় তাহা ঐ ছিদ্র হতে উদ্ধৃত core-এর দাম বলা যেতে পারে। এই core-এর প্রাকৃতিক গুণাগুণ এবং তাহাদের পরিচিতি লিপিবদ্ধ করা হয় এবং তাহাকে log আখ্যা দেওয়া হয়। এই log-এর বর্ণনা graph-এর সাহায্যেও করা হয়। প্রতিটি ছিদ্রের log পৃথকভাবে লিপিবদ্ধ করা হয় এবং তাহাতে drilling-এর তারিখ ; জলপীঠের বেধ এবং তাহা নির্ণয়ের তারিখ এবং ঐ স্থানের মাধ্যমিক সমুদ্র পৃষ্ঠ (Mean sea level) হইতে উচ্চতা ইত্যাদি তথ্যও লিপিবদ্ধ থাকে। এই core-এর সুষ্ঠুভাবে সংরক্ষণ বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ যাহাতে ভবিষ্যতে প্রয়োজনবোধে ইহার পুনরায় পরীক্ষা করা সম্ভব হয় এবং সেই হেতু অনেক দেশে গ্রন্থাগারের ন্যায় Core library প্রতিষ্ঠিত হইয়াছে। জিওলজিকাল সার্ভে অফ ইণ্ডিয়ার উদ্যোগে আমাদের দেশেও ঐরূপ library প্রতিষ্ঠা করা হইয়াছে। ভূছিদ্র হতে উদ্ধৃত core-এর প্রত্যক্ষ পরীক্ষা দ্বারা উহার log লিপিবদ্ধ করা ছাড়াও পরোক্ষভাবে এই logging-এর কাজ বৈদ্যুতিক প্রণালী ও তেজস্ক্রিয়তার সাহায্যে করা হয় এবং ইহাদের electrical logging ও radio-activity logging বলা হয়। এই দুই প্রথা তৈলকূপের drilling-এ বিশেষ ব্যবহৃত হয়।

ভূপদার্থিক (Geophysical) পদ্ধতি—বর্তমানে পাতালিক অনুসন্ধানের কাজে এই পদ্ধতির সাহায্য লওয়া হয়। পদার্থবিদ্যা জনিত যন্ত্রপাতির পরিমিতি (Measurement) সমূহকে ভূতাত্ত্বিক পরিমিতিতে রূপান্তরিত দ্বারা এই অনুসন্ধান কার্য্য চালান হয়। বস্তুতঃ এই পদ্ধতিতে ভূপৃষ্ঠে বিশেষ ধরণের যন্ত্রপাতির সাহায্যে পদার্থ বিদ্যা অন্তর্ভুক্ত বিষয়গুলির মাপ করা হয় এবং এই তথ্য ভূনিম্নের প্রাকৃতিক অবস্থা নির্ণয়ে সহায়তা করে। গবেষণাগারে ভূনিম্নের মৃত্তিকা, প্রস্তর ইত্যাদির উপর পদার্থ বিজ্ঞান উদ্ভূত কয়েকটি যন্ত্রের প্রতিক্রিয়া পরীক্ষামূলকভাবে লিপিবদ্ধ করা হইয়াছে এবং এই সকল প্রতিক্রিয়া কোন কোন প্রকৃতিগত গুণাগুণের সহিত সংশ্লিষ্ট তাহার নিরূপণ করা হইয়াছে। এই আহরিত জ্ঞান ও তথ্য কার্য্যক্ষেত্রে প্রয়োগদ্বারা পাতালিক অনুসন্ধানের কাজে বিশেষ লাভবান হওয়া যায়।

ভূপদার্থিক পদ্ধতি সাধারণতঃ নিম্নলিখিত কয়েক শ্রেণীর অনুসন্ধানে ব্যবহৃত হয়, যথা—(a) বাঁধ নির্মাণের স্থান, সুড়ঙ্গ পথ এবং জলাধারের স্থান নির্ণয়ে ; (b) বাঁধ ও জলাধার নির্মাণের স্থানের ভজনের সমীক্ষার

এবং (c) বৃহদাকার কারিগরী গঠনগুলির ভিত্তির স্থায়িত্ব নির্ণয়ে। ইহা ছাড়াও নির্মাণ কার্য্যে ব্যবহারযোগ্য প্রাকৃতিক বস্তুসমূহের (শিলা, মৃত্তিকা, প্রস্তরখণ্ড ইত্যাদি) উৎস সন্ধানে এই পদ্ধতির সাহায্য লওয়া হয়। ভূপদার্থিক অনুসন্ধান চারি প্রকারের করা হয়, যথা—(i) ভূকম্পীয় শক্তির নির্ধারণ (Seismic measurement); (ii) চুম্বকীয় শক্তির মাপ করণ (Magnetic measurement); (iii) অভিকর্ষজনিত শক্তির মাপ নিরূপণ (Gravity measurement); এবং (iv) বৈদ্যুতিক শক্তির গতিরোধ ক্ষমতার পরিমাপ (Electric resistivity measurement)। এই অনুসন্ধান পদ্ধতিগুলি নিম্নে সংক্ষেপে বর্ণিত হইয়াছে।

(i) ভূকম্পীয় শক্তির নির্ধারণ পদ্ধতিতে ভূপৃষ্ঠে একটি ছিদ্র করিয়া তাহাতে বিস্ফোরক পদার্থ রাখা হয় এবং একটি পূর্ব নির্ধারিত পঙ্ক্তিতে (Line) কয়েকটি ভূকম্পীয় তরঙ্গ প্রবাহ গ্রাহকযন্ত্র (Geophone) পনর বা ত্রিশ মিটার দূরে দূরে রাখা হয়। এই বিস্ফোরক পদার্থের বিস্ফোরণ ঘটাইলে ঐস্থানে ভূকম্পন হয় এবং উহা হইতে ভূকম্পীয় তরঙ্গ প্রবাহের সৃষ্টি হয়। এই তরঙ্গ প্রবাহের কিয়দংশ ভূপৃষ্ঠের অল্প নিম্ন দিয়া অপেক্ষাকৃত কম বেগে যাতায়াত করে এবং ঐ Geophone গুলিতে ধরা দেয়। আর কিয়দংশ নিম্নদিকে ঘনস্তরের সংস্পর্শে আসে এবং প্রতিসরণ (Refraction) হেতু ঐ স্তরের উপরিভাগ দিয়া বেগে ধাবিত হইয়া পুনরায় উপরের স্তরটি ভেদ করে এবং ভূপৃষ্ঠে রক্ষিত Geophone গুলিতে ধরা পড়ে। Geophone হইতে এই ভূকম্পীয় তরঙ্গপ্রবাহ ভূকম্পলেখন যন্ত্রে (Seismograph) প্রেরিত হয় এবং সেখানে এইগুলি লিপিবদ্ধ হয়। এই ভূকম্পীয় তরঙ্গ প্রবাহের যাত্রা শুরু হইতে শেষ লিপিবদ্ধ হওয়া অবধি কত সময় লাগিয়াছে তাহার হিসাব করিয়া এবং কিরূপ স্তরের ভিতর দিয়া উহার গতিবেগ কত তাহা জানা থাকায় ঐ সময়ে ভূকম্পীয় তরঙ্গপ্রবাহ কতটা পথ অতিক্রম করিয়াছে তাহা নির্ধারণ করা হয়। এই সকল তথ্য হইতে কোন ভূস্তর কত মোটা তাহার হিসাব পাওয়া যায়। উপরোক্ত উপায়ে ভূকম্পীয় তরঙ্গপ্রবাহের গতিবেগ মাপিয়া বাঁধ বা কারিগরী গঠনসমূহের নির্মাণে ভূতলে শিলাস্তরের বেধ নিরূপণ সম্ভব হয়।

(ii) Magnetic এবং (iii) Gravity measurements-এর পদ্ধতি প্রায় একই প্রকারের, কেবল measurement-এর লক্ষ্য বস্তু ভিন্ন। Magnetic প্রথায় কোন জায়গার চুম্বকীয় আকর্ষণীশক্তির উর্ধ্বাধ অংশের নিরূপণ Magnetometer-এর সাহায্যে করা হয় এবং এই measurement

কয়েকটি কাছাকাছি স্থানে লওয়া হয়। এই চুম্বকীয় তথ্য ঐ জায়গার পাতালিক অবস্থার বিশেষত্বের সম্বন্ধে জ্ঞাপন করে। সেইরূপ Gravity প্রথায় নির্বাচিত জায়গার অভিকর্ষণ শক্তির মাপ নির্ণয়ে Gravimeter ব্যবহৃত হয়। এই মাপ কয়েকটি নিকটবর্তী স্থানে লওয়া হয় এবং এই সকল তথ্যের দ্বারা ঐ জায়গার ভূতলের অবস্থা সম্বন্ধে জানা যায়। ভারী কারিগরী গঠনের ভিত্তিস্থানের অনুসন্ধানে এই Magnetic ও Gravity measurements পদ্ধতি বিশেষ ব্যবহৃত হয় না। তবে ভূনিম্নে উদ্‌বেধ ডাইক্ (Intrusive dyke)-এর অবস্থান নির্ণয়ে Magnetic প্রথা বিশেষ সহায়ক। সেইরূপ ভূগর্ভস্থ কন্দরসমূহের (Solution channel) অন্বেষণে Gravity measurement পদ্ধতির ব্যবহার খুবই ফলপ্রদ।

(iv) Electrical resistivity পদ্ধতি কারিগরী ভারীগঠনের ভিত্তি-স্থানের অনুসন্ধানে খুব বেশী ব্যবহার হয়। এই পদ্ধতির দ্বারা ভূপৃষ্ঠের জমির এবং ভূতলস্থ মৃত্তিকা বা শিলাস্তরের বৈদ্যুতিক শক্তির গতিরোধ ক্ষমতার মাপ নির্ধারণ করা হয়। বিভিন্ন বস্তুর মাধ্যমে বৈদ্যুতিক শক্তি চালনার মাপ গবেষণাগারে নির্ধারিত হইয়াছে এবং সেই তথ্য হইতে ঐ সকল বস্তুর বৈদ্যুতিক শক্তির গতিরোধ ক্ষমতাও জানা আছে। এই পদ্ধতি অনুসারে জমির উপরিভাগে দুইটি পৃথকস্থানে তড়িদ্‌দ্বার (Electrode) প্রবেশ করাইয়া দেওয়া হয় এবং ব্যাটারীর সাহায্যে ঐ তড়িদ্‌দ্বারগুলির মধ্যে জমির মাধ্যমে বিদ্যুৎ সঞ্চালন করিয়া তাহার মাপ নিরূপণ করা হয়। এই তড়িদ্‌দ্বারগুলির মধ্যে দূরত্ব ক্রমশঃ বৃদ্ধি করিয়া দেখা গেছে যে বিদ্যুৎ সঞ্চালনের মাত্রা হ্রাস পায় যেহেতু ঐ বিদ্যুৎশক্তি তড়িদ্‌দ্বার-গুলির মধ্যে দূরত্ব বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে জমির গভীর হতে গভীরতর তলদেশ দিয়া সঞ্চালিত হয় এবং ফলে উহার গতিরোধ বেশী পরিমাণে হয়। এই সকল ফলাফল গবেষণাগারে পূর্বলব্ধ তথ্যের সহিত তুলনা করিয়া জমির তলদেশের মৃত্তিকা বা শিলাস্তরের রূপ ও অবস্থা নির্ণয়ে বহুল পরিমাণে সহায়ক হয়।

তবে ইহাও বিশেষভাবে জানা দরকার যে কোনস্থানের ভূপদার্থিক অনুসন্ধানে কয়েকপ্রকার ভৌত (Physical) পরিমিতি (Measurements) লওয়া হয় এবং সেইগুলির দ্বারা তুলনামূলকভাবে ঐ স্থানের পাতালস্থ ভূতাত্ত্বিক তথ্যের ব্যাখ্যা করা হয়। প্রকৃতপক্ষে ভূপদার্থিক বিজ্ঞানজনিত ভৌত পরিমিতি সোজাসুজি ভূতাত্ত্বিক গুণাগুণের নির্দেশ করে না। ভূপদার্থিক অনুসন্ধানের ফলাফলের নির্ভুলতা পাতালস্থ বিভিন্ন ভূস্তরগুলির

ভৌত ধর্ম সকলের (Properties) প্রভেদের উপর অধিকমাত্রায় নির্ভর করে। উদাহরণস্বরূপ বলা যাইতে পারে যে যদি ভূতলস্থ কোন শিলা-স্তরে ভূকম্পীয় তরঙ্গ প্রবাহের গতি ঐ স্তরের উপরে শায়িত (Overlying) স্তরের মধ্য দিয়া গতিবেগের অপেক্ষা কম হয়, সেক্ষেত্রে ঐ পদ্ধতির দ্বারা নিম্নস্থ স্তরের বেধ নির্ণয় করা সম্ভব হয় না। আর যদি ভূপৃষ্ঠ অসমতল হয় বা ভূতলস্থ স্তরগুলি অধিকমাত্রায় আনত হয় তাহা হইলে এই পদ্ধতি বিশেষ ফলপ্রদ হয় না। সেইরূপ Electrical resistivity পদ্ধতি কেবলমাত্র যে স্থলে অন্তর্নিহিত বস্তুগুলির মধ্যে বৈদ্যুতিক শক্তির গতিরোধের মাত্রার উল্লেখযোগ্য প্রভেদ বিদ্যমান, সেই স্থলেই বিশেষ ফলপ্রদ এবং সঠিক হয়।

সুতরাং পাতালিক অনুসন্ধানে ভূপদার্থিক বিজ্ঞান পদ্ধতির ব্যবহার দ্বারা অনেক গুরুত্বপূর্ণ জ্ঞান ও তথ্য সঞ্চয় হইলেও ভূছিদ্রকরণের দ্বারা লব্ধ তথ্য অনেক বেশী নির্ভরশীল এবং বাস্তব সত্যের দ্বারা প্রমাণিত।

পঞ্চম অধ্যায়

কারিগরী ভুবিদ্যার সহিত ভূজলের সম্পর্ক

ভূনিম্নে শিলাসংস্তরের উপরিভাগ হইতে ভূপৃষ্ঠ অবধি যে মৃত্তিকাচ্ছাদন থাকে, উহার গভীরতা যদি অপেক্ষাকৃত বেশী হয় এবং মোটামুটি সমতলভূমির আকারে থাকে, সেই সকল ক্ষেত্রে ভূনিম্নে জলের একটি সংপৃক্তিমণ্ডল (Zone of saturation) বিরাজ করে। এই সংপৃক্তিমণ্ডলে অবস্থিত মৃত্তিকার রন্ধ্রাবকাশ (Pore-space)সমূহ এবং নিম্নস্থ শিলাখণ্ডের ফাটলগুলি জলে পরিপূর্ণ থাকে। সংপৃক্তিমণ্ডলের গভীরতা স্থান বিশেষে ভিন্ন হয় এবং এই মণ্ডলস্থ জলকে ভূজল (Ground water) আখ্যা দেওয়া হয়।

কারিগরী ভূবিদ্যার অধ্যয়নে ভূজলবিজ্ঞান (Geohydrology) বিশেষ স্থান অধিকার করে। মানবজীবনের কল্যাণে ভূজল অতিশয় আবশ্যকীয় বস্তু। পৃথিবীর বহু স্থানে মানুষের জীবন ধারণের জন্য ভূজলই একমাত্র ভরসা। তাহা ছাড়া কৃষিকার্য্যের এবং বহুবিধ শিল্পের জলের চাহিদা মিটাইতেও ভূজলের অবদান খুব গুরুত্বপূর্ণ। বৃষ্টির জল ভূজলের একটি প্রধান উৎস। ইহা ছাড়াও গলিত তুষার, নদী, দীঘি, জলবাহী নালা এবং বৃহদাকার জলাশয় ইত্যাদিও ভূজলের উৎস। এই সকল উৎস হইতে জল ভূতলে প্রবেশ করে এবং ভূজল হিসাবে সংরক্ষিত হয়। যে কোন স্থানে বিরাজিত ভূজলের স্তরের সর্বোচ্চ ভাগকে সেই স্থানের জলপীঠ (Water table) বলে। জমির উপরি-ভাগের অব্যবহিত নিম্নদেশ হইতে জলপীঠের উপরিভাগ অবধি জলকে Vadose বলা হয়। কার্য্যক্ষেত্রে দেখা গেছে যে জটিল স্থলাকৃতি ও ভূতাত্বিক অবস্থাহেতু যে কোন একটি স্থানে একের বেশী সংপৃক্তিমণ্ডল এবং জলপীঠ বিরাজ করে।

আমরা জানি যে ভূজল অভিকর্ষনীতি অনুসারে উপর হইতে নিম্নদিকে গমন করে এবং জলপীঠে মিলিত হয়। আবার জলপীঠের উপরিস্থ মৃত্তিকার রন্ধ্রাবকাশ সমূহ ঐ জলপীঠ হইতে কৌশিকী (Capillary) আকর্ষণে উত্থিত জলবিন্দু দ্বারা পূর্ণ হয়। শুষ্ক ও মোটা দানাবিশিষ্ট

বালুকা বা মৃত্তিকা নিম্নস্থ জলপীঠ হইতে কৌশিকী আকর্ষণে অতি শীঘ্র জলবিন্দু আহরণ করে, তবে এই জলবিন্দুসমূহ মাত্র কয়েক সেণ্টিমিটার উত্থিত হয়। ইহার বিপরীত ফল দেখা যায় যদি মৃত্তিকাচ্ছাদন অতি সূক্ষ্ম কণা বিশিষ্ট হয়। এইরূপ ক্ষেত্রে প্রায় দশ হইতে বার মিটার অবধি জলবিন্দুসমূহ ঐ প্রথায় উত্থিত হয়, কিন্তু কয়েক মাস হইতে বৎসরাধিক সময় লাগে। এরূপ উদাহরণ আছে যেখানে জলাভূমির উপরে উঁচু মাটির বাঁধের (Embankment) সর্বোচ্চ স্থানে এই কৌশিকী আকর্ষণের দ্বারা জলবিন্দু পৌঁছিতে দুই বা তিন বৎসর সময় লাগিয়াছে। পৃথক পৃথক বালুকণা বা অতি সূক্ষ্ম মৃত্তিকাকণাসমূহকে এই উত্থিত জলবিন্দু বাষ্পীয় আকারে আচ্ছাদিত করিয়া রাখে। ফলে রন্ধ্রাবকাশ প্রায় লোপ পায় এবং ভূজলের অভিকর্ষজনিত জলপীঠের দিকে নিম্নগমন প্রতিহত হয়। জলপীঠ ভূপৃষ্ঠের খুব অল্প নীচে থাকিলে কৌশিকী আকর্ষনজনিত জলকণার উত্থানের মাত্রা খুব বেশী হয় কারণ ভূপৃষ্ঠের সন্নিকটে দ্রুত বাষ্পীভবন (Evaporation) হওয়ায় জলপীঠ হইতে ক্রমাগত জলবিন্দুসমূহ উপরে উঠিয়া আসে এবং ঐ স্থানের জমির উপরি ভাগ সংপৃক্তি অবস্থায় থাকে ও বাহ্যিক ভিজা দেখা যায়। ফলে জলাভূমির (Swamp) সৃষ্টি হয়। কোন গঠনকার্য্যের ভিত্তিস্থাপনে জলপীঠের নির্ণয়ে ইহা একটা সুস্পষ্ট নির্দেশক।

অনাবৃষ্টিহেতু ভূজলের সংপৃক্তিমণ্ডল ভূপৃষ্ঠ হইতে নীচের দিকে নামিয়া যায়। জলপীঠ কখনও অনুভূমিক অবস্থায় থাকে না এবং বিশেষ কয়েকটি বিচ্ছিন্ন স্থান ব্যতিরেকে ইহা সর্বদাই গতিশীল। ইহা সাধারণতঃ উপরিভাগের জমির বিন্যাসের সঙ্গে একটা সমতা রাখে। তবে বাস্তব ক্ষেত্রে দেখা গেছে যে বৃষ্টির জল জমির উপরিভাগ হইতে নীচের দিকে নামিবার সময়ে কখনও কখনও নিশ্ছিদ্র (Impervious) বা অল্প পারগম্য (Pervious) শিলাস্তরে বাধাপ্রাপ্ত হইয়া অবরুদ্ধ (Perched) হইয়া পড়ে এবং এই অবস্থায় থাকে। সুতরাং এই অবরুদ্ধ ভূজলের স্তর যদি বিস্তীর্ণ হয়, সে স্থলে ইহা একটি জলপীঠ হিসাবে গণ্য হয়। এইরূপে কোন কোন বিস্তীর্ণ বালুকাময় স্থানে নিশ্ছিদ্র শিলাস্তরের প্রতিবন্ধকতায় দুই বা ততোধিক জলপীঠের সৃষ্টি হয় এবং ভূতাত্ত্বিকের অনুসন্ধানে সমস্যা দেখা দেয়। অনেক সময়ে ভূতলে দুইটি আনত নিশ্ছিদ্র শিলাস্তরের মধ্যে পারগম্য স্তর থাকে এবং এই পারগম্য স্তরের একদিক (ঢালের দিকে) উপরিস্থ ও নিম্নস্থ নিশ্ছিদ্র শিলাস্তর দুইটির দ্বারা কীলকাকারে (Wedge-shaped) আচ্ছাদিত থাকে। এই অবস্থায় ঐ দুইটি নিশ্ছিদ্র শিলাস্তরকে

aquiclude বলা হয়। ফলে ঐ কীলকাকারের পারগম্য স্তরে ভূজল অন্যদিক (উপর দিক) হইতে প্রবেশ করিয়া আবদ্ধ (confined) হইয়া পড়ে এবং এই অবস্থায় বিরাজ করে। পরে ঐ পারগম্য স্তরের বদ্ধ (আচ্ছাদিত) দিকে যদি কোন ভূছিদ্র করা হয় এবং ছিদ্রটি পারগম্য স্তরটিকে বিদ্ধ করে, সে স্থলে ঐ আবদ্ধ ভূজল চাপের বশবর্তী হইয়া বেগে ভূপৃষ্ঠে উঠিয়া আসে। এইরূপে পাওয়া জলকে আর্টেজীয় (Artesian) বলা হয় এবং নানাস্থানে এইরূপ আর্টেজীয় অবস্থা বিস্তীর্ণ এলাকা জুড়িয়া থাকে। সেক্ষেত্রে ঐ এলাকাকে আর্টেজীয় অববাহিকা (Basin) আখ্যা দেওয়া হয়। পাহাড়ী দেশে জমির উপরিস্থ ক্ষয়প্রাপ্ত (Eroded) শিলাস্তরগুলির নীচে অনেকসময়ে নিশ্ছিদ্র প্রস্তর যথা শেল (Shale) ইত্যাদি থাকে এবং বর্ষাকালে বৃষ্টির জল এই ক্ষয়প্রাপ্ত শিলাস্তর-গুলিকে পূর্ণ মাত্রায় সংপৃক্ত করিয়া রাখে। এইরূপে গঠিত জলবাহী স্তরকে aquifer বলা হয় এবং ইহা অনেকক্ষেত্রে বেশ গভীর ও দীর্ঘকাল স্থায়ী হয়। Aquifer-গুলি সাধারণতঃ প্রচুর ভূজলের উৎস হয়। নিম্নের চিত্র দুইটি হইতে উপরে বর্ণিত আখ্যাগুলি (Terms) বুঝিবার সুবিধা হইবে।

Fig. 1

Springs (S = spring, f = fracture)

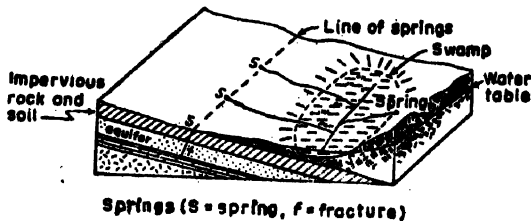
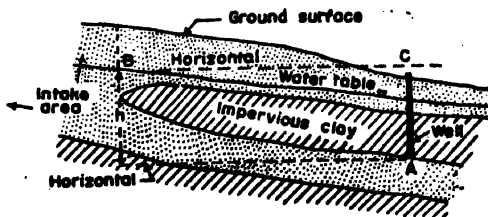



Fig. 2

Schematic representation of artesian flow

যদি কোন পারগম্য মৃত্তিকাস্তরের উপরিভাগে বৃহদাকার জলাধার, প্রবাহিত নদী বা খাল থাকে, সেই সকল ক্ষেত্রে ক্ষরণ (Seepage) হেতু ঐ সকল জলের উৎসের নিম্নস্থ জলপীঠ উপরের দিকে উঠিয়া আসে। আবার যদি নিম্নস্থ জলপীঠ হইতে কোনস্থানে পাম্পের সাহায্যে অধিক মাত্রায় জল উত্তোলন করা হয় অথবা অন্য কোন উপায়ে জল নিঃস্রাব হয়, সেই স্থানের জলপীঠের অবনমন ঘটে। ভূপৃষ্ঠ হইতে জলপীঠের বেধ সাধারণতঃ ঐ স্থানের বৃষ্টিপাতের মাত্রা এবং নদী বা যে কোন প্রবহমান জলরাশির উপর বহুলাংশে নির্ভরশীল। ঋতু পরিবর্তনের সঙ্গে জলপীঠের বেধের মাত্রা বিশেষভাবে জড়িত এবং পরিবর্তনজনিত বেধে বেশ কয়েক মিটারের পার্থক্য দেখা যায়। সাধারণতঃ বর্ষার শেষে জলপীঠ সর্বাপেক্ষা উঁচু হয় এবং গ্রীষ্মের প্রখরতায় সর্বাধিক নামিয়া যায়। তবে যে কোন সময়ে এই নিয়মের বৈলক্ষণ্য দেখা যায়। আঞ্চলিক জলপীঠের উঠা নামার হিসাব রক্ষণের জন্য ঐ অঞ্চলের কয়েকটি বিশেষ কূপের জলের বেধ বৎসরে নিয়মিত সময়ের ব্যবধানে মাপ করা হয় এবং এই মাপের হঠাৎ কোন বৈলক্ষণ্য প্রকাশ পাইলে তাহার কারণ অনুসন্ধান করিয়া সঠিক মাপ লিপিবদ্ধ করা কর্তব্য। অনুসন্ধান করিয়া দেখা গিয়াছে যে অনেক সময়ে কূপের জলে অবরুদ্ধ হাওয়ার বুদ্‌বুদ্ সেই স্থানের প্রাকৃতিক বায়ু-চাপের প্রভাবে বর্দ্ধিত বা সঙ্কুচিত হওয়ায় জলের বেধের মাপ কমে বা বৃদ্ধি পায়। এমনকি ইহাও দেখা গিয়াছে যে কোন কোন ক্ষেত্রে রেলগাড়ী যাওয়ার অব্যবহিত আগে ও পরে ঐ রেলপথের সন্নিকটস্থ কূপসমূহের জলের লেভেলের তারতম্য হয়। এই তারতম্যের কারণ জলবাহী স্তরের উপর সাময়িক গুরুভার জনিত চাপ।

পূর্বেই বলা হইয়াছে যে ভূজল কিরূপে মানবজাতির কল্যাণ সাধনে এবং শিল্পের বিস্তারে সাহায্য করে। ভূজল মানুষ ও জীবজন্তুর পানীয়ের উৎস এবং বর্তমানে সেচের জন্য ইহার ভূমিকা খুবই গুরুত্বপূর্ণ। এই কারণে ভূজলকে হিতকারীর পর্য্যায়ভুক্ত করা হয়। অপরদিকে বৃহদাকার কারিগরী গঠনগুলির ভিত্তির এবং ঢালু জমির স্থায়িত্ব, বাঁধের গাত্র হইতে ও উহার জলাধারের তলদেশ হইতে ক্ষরণ ইত্যাদি ব্যাপারে ভূজলের প্রতিকূলক্রিয়ার প্রভাব বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয়। এই প্রতিকূলক্রিয়ার উদাহরণ পাহাড়ে এলাকায় ভূমিস্খলন, বাঁধের স্থানচ্যুতি, জলপীঠের উত্থান-হেতু খনিসমূহের জলমগ্ন হওয়া এবং ভূপৃষ্ঠ উন্নমিত হওয়া ইত্যাদি ঘটনাগুলি উল্লেখযোগ্য। বহু বৃহৎ অট্টালিকার ভূগর্ভস্থ প্রকোষ্ঠে ভূজলের

অনুপ্রবেশ জনিত বিপত্তিও একটি উল্লেখযোগ্য সমস্যা। ভূজলজনিত এই সকল বিপত্তির দূরীকরণে ইঞ্জিনীয়ারগণ কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের সাহায্য লইয়া থাকেন। বিশেষজ্ঞগণ এই ব্যাপারে প্রথমে নির্দ্ধারিত স্থানে ভূপৃষ্ঠের কত নীচে ভূজলের সংপৃক্তিমণ্ডল বিরাজিত তাহা নির্ণয় করেন এবং প্রকল্পিত গঠনগুলির ভিত্তিস্থাপনের কাজে কি পরিমাণ ভূজলের দ্বারা বিঘ্ন ঘটিবার সম্ভাবনা তাহার একটা ধারণা করিতে চেষ্টা করেন। এই সকল তথ্য আহরণের জন্য ভূজল বিষয়ে পূর্ণ সমীক্ষা করা হয় এবং এই সমীক্ষার বিষয় ও পদ্ধতি সমূহ নিম্নে আলোচিত হইয়াছে।

প্রথমে ভূজলের হিতকর ভূমিকা সম্বন্ধে আলোচনা করিতেছি। ভূজল ব্যবহারের নিমিত্ত বিভিন্ন ব্যাসের কূপ খনন করা হয়। সভ্যতা বিকাশের সুরু হতে মানবজাতি এই উপায়ে ভূজলের আহরণ করিয়া আসিতেছে। কূপের জল পানীয় হিসাবে ব্যবহার ছাড়াও কৃষিকার্য্যে অতি প্রাচীন কাল হইতে ব্যবহৃত হইতেছে। উত্তর ভারতের অনেক স্থানে গ্রামবাসীরা বৃষ-চালিত Persian Wheel দ্বারা গভীর বৃহদাকার কূপ সকল হইতে জলোত্তোলন করিয়া সেচের কাজে ব্যবহার করে। ঐ সকল দেশে বহুস্থানে অপেক্ষাকৃত গভীর কূপের জলের লেভেল অবধি সুড়ঙ্গ বা ঢালু রাস্তা করা আছে যাহাতে জলপীঠ অবধি লোকের পৌঁছান সম্ভব হয় এবং জল আহরণের কষ্ট কম হয়। বর্ত্তমানে হস্তচালিত বা বৈদ্যুতিক পাম্পের সাহায্যে জলোত্তোলন করিয়া পানীয় ও সেচের জল আহরিত হয়। কিন্তু সেচের বা শিল্পের ব্যবহারের জন্য অনেক বেশী পরিমাণ ভূজলের প্রয়োজন হয়।

খনিজ পদার্থ ভূগর্ভ হইতে আহরিত হইলে তাহার আর পূরণ হয় না। কিন্তু ভূজলের ক্ষেত্রে প্রাকৃতিক নিয়ম বিপরীত হওয়ায় ইহার পুনঃপূরণ হয় এবং সেইহেতু কোন গঠনের পরিকল্পিত স্থানে ভূজলের অবস্থিতি ও তাহার গতিবিধি সম্বন্ধে বিশেষ অনুসন্ধানের প্রয়োজন। এই অনুসন্ধান আঞ্চলিক ভিত্তিতে করা হয় কারণ ভূজলের অববাহিকা কতকগুলি ভূতাত্ত্বিক, বিশেষতঃ জলবিজ্ঞানসম্মত সীমানার দ্বারা নির্ণীত এবং ইহা খুবই বিস্তৃত হয়। অনেকক্ষেত্রে ইহা কয়েকশত বর্গ কিলোমিটারে সীমাবদ্ধ থাকে। তবে এই অববাহিকা বহুস্থানে দৈর্ঘ্যে খুব বেশী হইলেও প্রস্থে অল্প পরিসরের হয় এবং ইহাতে ভূপৃষ্ঠে অবস্থিত নদী বা নালার নিম্নে ভূজল একই দিকে প্রবাহিত হয়। এমন কি ভূপৃষ্ঠে ঐ নদী বা নালার জলপ্রবাহ দেখা না গেলেও ঐ স্থানে অন্তর্প্রবাহ বজায় থাকে। সমতল

জমিতে সাধারণতঃ ভূজল অতি অল্প ঢালে প্রবাহিত হয় এবং কয়েকটি স্থানে জলপীঠ প্রায় সমতল থাকে। কিন্তু পার্বত্যদেশে এই ভূজলের অবস্থিতি প্রায়ই অনিয়মিত দেখা যায় এবং জলপীঠ ও aquifer বিচ্ছিন্ন অবস্থায় থাকে। এই সকলক্ষেত্রে ভূজলের অবস্থিতি স্থানীয় স্থলাকৃতি (Topography) হইতে অনুমান করা হয়। দেখা গিয়াছে যে বহু অবনমিত স্থানে, এমনকি ঢালু জমির নিম্নেও, ভূজলের অন্তর্নিহিত প্রণালী থাকে।

আমাদের দেশে বহু স্থানের ভূজলের অববাহিকার মানচিত্র পৃথক পৃথকভাবে ইতিমধ্যেই জিওলজিকাল সার্ভে অফ ইণ্ডিয়ার দ্বারা প্রকাশিত হইয়াছে। এই সকল মানচিত্রে ভূজলের সমোচ্চ রেখা (Contour lines) দেখান হইয়াছে এবং এই তথ্য হইতে ভূজলের প্রবাহের দিক এবং তাহার ঢাল-অবক্রম (Gradient of slope) নির্ণয় করা যায়। কিন্তু এই সকল তথ্য আঞ্চলিক ভিত্তিতে পরিবেশিত হওয়ায় কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞকে নির্দেশিত স্থানে জলপীঠের বেধ নির্ণয় করিতে হয়। এই ব্যাপারে ঐ স্থানের বিস্তৃত অঞ্চলের কূপগুলির জলের বেধ মাপা হয় এবং ভূছিদ্র থাকিলে তাহাদের মধ্যে জলের বেধও নিরূপণ করা হয়। তবে এই মাপ সারা বৎসরে নিয়মিত সময়ের ব্যবধানে করা হয় কারণ জলপীঠের বেধ স্থায়ী নহে এবং ঋতু পরিবর্তনের সাথে সাথে ইহার বেশ উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন হয়। এই সকল সমীক্ষার ফলে ঐ স্থানের ভূজলের ঢাল নির্ণীত হয়। পাম্পের সাহায্যে সেচের এবং শিল্পের প্রয়োজনীয় ভূজলের আহরণের পরিমাণ খুব বেশী হয় বলিয়া বিশেষজ্ঞকে ঐ স্থানের জলপীঠে ভূজলের প্রবাহের গতি এবং উহার নিঃস্রাবের (Discharge) পরিমাণ নির্ধারণ করিতে হয়। মৃত্তিকা বা শিলাস্তরের প্রবেশ্যতার (Permeability) উপর এই দুইটি বিষয় বিশেষভাবে নির্ভরশীল। এই প্রবেশ্যতার মান নির্ণয়ের জন্য ঐ স্থানের aquifer হইতে পাম্পের সাহায্যে একটি নির্দিষ্ট সময়ের (সাধারণতঃ এক ঘণ্টা) মধ্যে জলোত্তোলন করা হয় এবং এই হেতু জলপীঠের লেভেলের যে অবনমন হয় তাহার পুনঃপূরণে (Recharge) কত সময় লাগে এই সকল তথ্য আহরণের প্রয়োজন হয়। এই লব্ধ তথ্য হইতে কয়েকটি নির্ণীত-বিধি (Formula) অনুযায়ী ঐ aquifer-এর প্রবেশ্যতার মান নির্ধারণ করা হয়। জল-পীঠের এই অবনমনের মাত্রাকে drawdown বলে। যখন উপর্যুপরি এইরূপ প্রক্রিয়ার দ্বারা দেখা যায় যে ভূজলের নিঃস্রাবের পরিমাণ প্রায়

একই রকম, তখন এই পাম্পিং পরীক্ষা অবিরত চব্বিশ ঘণ্টা বা ততোধিক সময়ের জন্য করা হয় এবং ইহার দ্বারা ঐ স্থান হইতে ভূজল আহরণের পরিমাণ কতটা হওয়া উচিৎ তাহা মোটামুটি স্থিরীকৃত হয়। তবে এই পরিমাণও ঋতু পরিবর্তনের উপর নির্ভরশীল।

পাহাড়ী দেশে ঢালু জলপীঠ হেতু বহু সময়ে পাহাড়ের গাত্র হইতে ভূজলের প্রস্রবণ দেখা যায় এবং স্থানীয় বাসিন্দাগণ ঐ প্রাকৃতিক উৎস হইতে প্রয়োজনীয় জল আহরণ করে যদিও উহার নিঃস্রাবের মাত্রা ঋতু পরিবর্তনের সঙ্গে সঙ্গে কম বেশী হয়। জনগণের সুবিধার জন্য অনেক সময়ে কয়েকটি নিকটবর্তী প্রস্রবণ হইতে একটি কেন্দ্রীয়স্থানে জল আহরণ করিয়া সংরক্ষণ করা হয় এবং নলযোগে বণ্টন করা হয়।

যে স্থানে aquifer-এর প্রবেশ্যতার মান নিম্নাঙ্কের সেক্ষেত্রে অপেক্ষাকৃত বৃহৎ ব্যাসের কূপে জলের মাত্রা বেশী হয়, কিন্তু জল আহরণের পর পুনঃপূরণে বেশী সময় লাগে। কূপখনন সাধারণতঃ কায়িক পরিশ্রম দ্বারা করা হয়, তবে বৃহৎ ব্যাসের কূপ খননের কাজ যন্ত্রের সাহায্যে করা সুবিধাজনক। কূপখননকালে সংপৃক্তিমণ্ডলে পৌঁছিলে পর পারগম্য স্তর হতে জলের প্রস্রবন দেখা যায় এবং বহুক্ষেত্রে কয়েকটি পৃথক প্রস্রবন একই কূপে অল্প গভীরতার ব্যবধানে বিরাজ করে। ফলে এই সকল কূপে জলের পরিমাণ বেশী হয় এবং ঋতু পরিবর্তনেও ইহাদের জলসরবরাহের ক্ষমতা বিশেষ হ্রাস পায় না। তবে গ্রামের নিকটবর্তী যে সকল কূপ হইতে পানীয় জল সংগ্রহ করা হয়, সেইগুলি সচরাচর অগভীর হওয়ায় ভূপৃষ্ঠের উপরিস্থ নর্দমার ও অন্যান্য দূষিত জল অর্ন্তমৃত্তিকার (Subsoil) মধ্য দিয়া নীচে নামিয়া সংপৃক্তিমণ্ডলে ভূজলের সহিত মিশ্রিত হয় এবং পানীয় হিসাবে এই সকল কূপের জলকে ব্যবহারের অযোগ্য ও বিপজ্জনক করে। এই বিপত্তির প্রতিরোধকল্পে কূপের উপরিভাগ হইতে জলপীঠ অবধি ইঁট দ্বারা বা ইস্পাতের চুঙ্গীর দ্বারা কূপের গাত্রের উপর আচ্ছাদন করিয়া দেওয়া হয়। ইহাতে কূপের গাত্র হইতে মৃত্তিকা খসিয়া পড়াও রোধ হয়। তবে বেশীর ভাগ ক্ষেত্রে কূপের উপরিভাগ হইতে অন্তর্মৃত্তিকার লেভেল অবধি এই আচ্ছাদন দেওয়া হয় যাহাতে নিম্নস্থ প্রস্রবণগুলি ঢাকা পড়িয়া ভূজলের গতিরোধ না করে। কিন্তু পারগম্য স্তরগুলি বালুকাময় হওয়ায় ভূজলের নিঃস্রাবের সাথে সাথে শিথিল বালুকণা প্রবাহিত হইয়া আসে এবং কূপের মধ্যে জমিতে থাকে। ইহার প্রতিরোধকল্পে পিতলের অতিসূক্ষ্ম জালিবিশিষ্ট আচ্ছাদন দেওয়া

হয়। অনাবৃষ্টি হেতু যদি জলপীঠের অবনমন অতিশয় বেশী মাত্রায় হয় এবং উহা কূপগুলির সর্বোচ্চ গভীরতার লেভেলের নীচে নামিয়া যায়, সেক্ষেত্রে ঐ সকল কূপের তলসীমা হইতে ভূছিদ্র করিয়া অবনমিত জলপীঠ অবধি অগ্রসর হইতে পারিলে পরে পাম্পের সাহায্যে জল আহরণ করা সম্ভব হয়। এই প্রকারের কূপকে Bore-well আখ্যা দেওয়া হয়। অনেক সময়ে কূপের তলার পারগম্য স্তরগুলির রন্ধ্রসমূহ অতি মিহি বালুকণা বা মৃত্তিকাদ্বারা ভরিয়া যাওয়ায় ভূজলের অন্তর্স্রাব বন্ধ হইয়া যায়। সেক্ষেত্রে ঐ সকল পারগম্য স্তরে কয়েকটি অল্প পরিসরের সুড়ঙ্গ বিভিন্ন দিকে কাটা হয় এবং ইহাতে ভূজলের অন্তর্স্রাবের পরিমাণ উল্লেখযোগ্য বৃদ্ধি পায়।

কূপের মধ্যে ভূজলের নিঃস্রাব উহার ব্যাসের উপর অতি অল্পমাত্রায় নির্ভরশীল। কার্য্যক্ষেত্রে দেখা যায় যে কূপের ব্যাস দ্বিগুণ বৃদ্ধি করিলে তাহার ভূজল নিঃস্রাবের মান মাত্র পনর হইতে পঁচিশ শতাংশ বৃদ্ধি পায়। কূপের মধ্যে জলপীঠের অবনমনের সাথে উহার মধ্যে ভূজলের নিঃস্রাবের সম্পর্কও বিশেষ পরিলক্ষিত হয় না। যে কোন কূপের জলের গভীরতা পাম্পের সাহায্যে জল উত্তোলন করিয়া শতকরা পঞ্চাশ ভাগ কমাইয়া দিলেও উহার মধ্যে ভূজলের নিঃস্রাবের মাত্রা অল্প বৃদ্ধি পায়। কিন্তু এই নিঃস্রাবের মাত্রার সহিত কূপের পরিগ্রহণ ক্ষেত্রের (Intake area) দৈর্ঘ্যের বিশেষ সম্পর্ক আছে। সংপৃক্তিমণ্ডলের বালু বা মৃত্তিকাকণার আয়তন বর্ধিত আকারের হইলে এবং সমরূপতা (Uniformity) বজায় থাকিলে ভূজলের নিঃস্রাব উল্লেখযোগ্য বৃদ্ধি পায়। Aquifer বেশী পরিমাণে মোটাদানার বালুকাময় হইলে ভূজলের নিঃস্রাব বেশী হয় বটে, কিন্তু এই সকল কূপের জলের পরিমাণ পারিবারিক ব্যবহারের নিমিত্ত যথেষ্ট হইলেও সেচের জন্য যথোচিত না হইতেও পারে। দেখা গেছে যে শিথিল (Loose) বালুকা এবং উধোপলের (Gravel) সংমিশ্রণ অথবা কেবলমাত্র বালুশিলা নির্মিত aquifer হইতে প্রচুর পরিমাণে ভূজল সংগ্রহ করা সম্ভব হয়। চুণাপাথরও (Limestone) ভূজলের উল্লেখযোগ্য আধার, বিশেষতঃ যদি ইহা সরন্ধ্র হয় অথবা ইহার মুখ্য উপাদান Calcite-এর দ্রবণহেতু ফাটলের সৃষ্টি হইয়া থাকে। পাহাড়ী এলাকায় চুণাপাথরের aquifer হইতে পাহাড়ের ঢালু গাত্রে অনেক সময়ে ভূজলের প্রস্রবণ দেখা যায় এবং এই স্থানে Tufa-র সৃষ্টি হয় ও কালক্রমে বৃহদাকার অবক্ষেপে (Deposit) পরিণত হয়।

শিথিল বালুকণা, উধোপল বা বালুশিলা, চুণাপাথর ইত্যাদি পাললিক শিলার দ্বারা গঠিত aquifer ছাড়াও আগ্নেয়শিলা (Igneous rock) সমূহের ফাটলের মধ্যে অথবা ঐ চূর্ণীভূত প্রস্তরের মধ্যে ভূজলের সংরক্ষণ হয়। গ্রানিট প্রভৃতি উদ্‌বেধী (Intrusive) আগ্নেয়শিলা অথবা নিবদ্ধী (Crystalline) রূপান্তরিত (Metamorphic) শিলাসমূহও aquifer-এর ভূমিকায় সক্রিয় অংশ গ্রহণ করে। অনেকক্ষেত্রে ভূপৃষ্ঠ হইতে বেশ কিছু নিম্নে অবস্থিত অক্ষত (Unweathered) শিলাসংস্তরের উপরিভাগ অস্থানান্তরিত (in situ) অবস্থায় বেশীমাত্রায় ক্ষয়প্রাপ্ত ও চূর্ণীভূত হওয়ায় ভূজলের আধার হইয়া পড়ে। ভূতলে চ্যুতি মণ্ডলেও (Fault zone) অধিক পরিমাণে ভূজলের সংরক্ষণ হয়।

ইহা বিশেষভাবে জানা দরকার যে প্রতিটি কূপের ভূজল আহরণের নিজস্ব গণ্ডী (Zone of influence) আছে এবং এই গণ্ডীর ব্যাস সাধারণতঃ ছয় হাজার হইতে সাত হাজার মিটারের মধ্যে হয়। তবে সংপৃক্তিমণ্ডলের সরন্ধ্রতা ও প্রবেশ্যতার মানের সহিত ইহার ঘনিষ্ঠ সম্বন্ধ আছে। সুতরাং কূপখননের স্থান নির্বাচনে এই বিষয়ে বিশেষ লক্ষ্য রাখা দরকার। কারণ যদি কোন একটি কূপের গণ্ডীর সীমানা অপর একটি বা একের বেশী কূপের গণ্ডীর দ্বারা লঙ্ঘন করা হয়, সেই সকল ক্ষেত্রে এই কূপ-গুলির জলসরবরাহের মাত্রা হ্রাস পায়। তবে যদি এই গণ্ডীর সীমানার মধ্যে পুনঃপূরণের উৎস থাকে তাহা হইলে সরবরাহের মাত্রা বৃদ্ধি পায়। এই zone of influence-এর প্রভাব পাম্পচালিত কূপ সকলের ক্ষেত্রেই বেশী উপলব্ধ হয়। সমুদ্রোপকূলবর্তী স্থানে লবণাক্ত জল সুজলের (Freshwater) aquifer-এ প্রবেশ করিয়া উহাকে দূষিত করে। আবার অনেকক্ষেত্রে ভূতলস্থিত লবণাক্ত জলের স্তরের উপরে সুজলের আধার ভাসমান অবস্থায় বিরাজ করে এবং একটা সাম্যাবস্থা (Equilibrium) বজায় রাখে। এই সাম্যাবস্থা Ghyben-Hertzberg balance নামে পরিচিত। কিন্তু এইরূপ স্থানে পাম্প চালাইয়া কূপ হইতে অতিরিক্ত মাত্রায় সুজলের উত্তোলন করিলে এই সমতার আলোড়ন হয় এবং ফলে সুজল লবণাক্ত হইয়া পড়ে। জমির উপরিভাগ হইতে কয়েকশত মিটার গভীর তলদেশ অবধি ভূজলের তাপ ঐ স্থানের ভূপৃষ্ঠের বাতাসের তাপ হইতে দুই বা তিন ডিগ্রী ফারেনহাইট বেশী হয়।

এখন আর্টেজীয় বা অন্তর্জলীয় (Artesian) কূপ সম্বন্ধে কিছু আলোচনা করা হইতেছে। ভূজল আর্টেজীয় অবস্থায় কিভাবে পরিণত হয় তাহা

আগেই বলা হইয়াছে। এই artesian জলপ্রবাহের জন্য বালুকাময় বা বালুশিলাস্তরের aquifer এবং রন্ধ্রাবকাশ সমূহের উপর চাপের উপস্থিতি বিশেষ বাঞ্ছনীয়। Artesian aquifer অগভীর বা বেশ গভীর হইতে পারে, কিন্তু ইহার কার্য্যকারিতা পরিগ্রহণক্ষেত্রের আয়তনের উপর বিশেষভাবে নির্ভরশীল। Artesian প্রবাহ ক্রমান্বয়ে হইতে থাকিলে ঐ অবরুদ্ধ aquifer-এ চাপের মাত্রা হ্রাস পায় এবং artesian কূপের জলক্ষরণের মাত্রা এই সাথে কমিতে থাকে। Aquifer অবরুদ্ধ অবস্থায় না থাকিলেও artesian প্রবাহ হইয়া থাকে যদি এই aquifer-এর রন্ধ্রাবকাশ সমূহ অতিশয় চাপের অধীনে থাকে এবং নলকূপের তলদেশে অল্প পরিসর জায়গামাত্র সছিদ্র অবস্থায় হয়।

এখন ভূজলের চাহিদার পরিমাণ এবং উহার প্রাপ্তির সম্ভাবনা বা উৎস সম্বন্ধে আলোচনা করা যাক্। পূর্বেই বলা হইয়াছে যে পানীয় হিসাবে ভূজলের প্রধান ব্যবহার ছাড়াও কৃষিকার্য্যে এবং বহুবিধ শিল্পে ইহার ব্যবহার গুরুত্বপূর্ণ স্থান অধিকার করে। কিন্তু এই সকল ব্যবহারের জন্য ভূজলের চাহিদার পরিমাণ নির্ণয় কোনদেশেই সম্পূর্ণভাবে করা হয় নাই। আমাদের দেশে এই শতাব্দীর তিরিশ দশক অবধি জলবিজ্ঞান (Hydrology) সম্বন্ধে কিছু সমীক্ষা বিক্ষিপ্তভাবে করা হইয়াছিল। কিন্তু দেখা গেছে যে স্থানীয় সমীক্ষা বিশেষ লাভজনক নহে। বর্তমানে সকল জল-বৈজ্ঞানিকের (Hydrologist) অভিমত এই যে এক একটি অববাহিকার সম্পূর্ণ এলাকার জলসম্ভারের ব্যাপক নিরূপণ করা যুক্তিযুক্ত, যাহার দ্বারা ইহার যথাযথ সুষ্ঠু বণ্টনের ব্যবস্থা করা সম্ভব। স্বাধীনতালাভের পূর্বে এই দেশে উপরোক্ত প্রকারের সমীক্ষা দেশের কয়েক জায়গায়, যথা— পাঞ্জাব, সিন্ধুদেশ (অধুনা পাকিস্তানে), গঙ্গা ও যমুনার পাললিক (Alluvial) সমভূমি ও পূর্বোপকূলবর্তী সমতলদেশে বিক্ষিপ্তভাবে করা হইয়াছিল। তবে এই সমীক্ষা ভূপৃষ্ঠে প্রবাহিত জল (Surface water) সম্বন্ধে নিবদ্ধ ছিল। ঐ সকল স্থানে খালের সাহায্যে সেচের কার্য্যে এই জল নিয়োজিত হইয়াছিল। কিন্তু এই surface water-এর সহিত ভূজলের (Ground water) সম্পর্ক ও একের উপরে অন্যের প্রভাব সম্বন্ধে বিশেষ কিছু গবেষণা করা হয় নাই। ফলে কয়েক দশকের মধ্যেই জলসম্ভার ও জমির বন্দোবস্তে প্রবল অসুবিধা দেখা দেয়। বিশেষতঃ পাঞ্জাব প্রদেশে এই surface water বহুল পরিমাণে খালের সাহায্যে বিস্তৃত এলাকায় পরিচালনা করার ফলে এবং ভূতলে সংপৃক্তি-

মণ্ডলের অবস্থানহেতু জমির উপরিভাগের জলের অন্তর্স্রাবে দারুণ ব্যাঘাতের সৃষ্টি হয় এবং ভূপৃষ্ঠে ক্ষেতে জল জমিয়া (Water-logging) থাকিতে দেখা যায়। ইহা ছাড়াও বিস্তৃত এলাকার চাষের জমি ব্যাপকভাবে লবণাক্ত হইয়া পড়ায় চাষের অযোগ্য বলিয়া বিবেচিত হয়। এই জটিল সমস্যা যদিও ত্রিশ দশকেই দেখা দেয়, তথাপি ইহার সম্যক বৈজ্ঞানিক অনুশীলন এবং সমাধানকল্পে উল্লেখযোগ্য কিছুই বর্তমান কালাবধি করা হয় নাই।

স্বাধীনতালাভের পর জিওলজিক্যাল সার্ভে অব ইণ্ডিয়া এই বিষয়ে সমীক্ষা চালাইবার জন্য একটি পৃথক শাখার উদ্বোধন করে এবং তৎপরবর্তী কালে সারাদেশে অনেকগুলি প্রধান প্রধান অববাহিকার এলাকার ভূজলের অবস্থিতি, তাহার পরিমাণ এবং বিশেষ প্রকৃতিগত অবস্থা সম্বন্ধে যথেষ্ট পরিমাণে জ্ঞান আহরিত হইয়াছে। ভূজল বিষয়ে সমীক্ষা সারা বৎসর-ব্যাপী অবিচ্ছিন্নভাবে করা প্রয়োজন, কারণ আগেই বলা হইয়াছে যে ইহার তারতম্য ঋতু পরিবর্তনের সঙ্গে ঘনিষ্ঠভাবে সংশ্লিষ্ট। তাহা ছাড়াও aquifer হইতে জল সংগ্রহ করিলে তাহার পুনঃপূরণ কি পরিমাণে হয় এবং ইহাতে কত সময় লাগে এই সকল বিষয়েও সমীক্ষার বিশেষ প্রয়োজন। কারণ প্রতিটি ভূজলের আধারের জলসরবরাহ ক্ষমতা সীমিত এবং উৎপাদন এই সীমা লঙ্ঘন করিলে নানারূপ বিপত্তি দেখা দেয়। এই সীমার (Safe yield) মান নির্ণয়ে তিনটি প্রধান লক্ষ্যবস্তু হইতেছে যথাক্রমে—(a) সাম্বৎসরিক জলোত্তোলনের পরিমাণ যেন পুনঃপূরণের পরিমাণকে অতিক্রম না করে ; (b) অধিক পরিমাণে জলোত্তোলন হেতু জলপীঠের বেধ এমনভাবে বৃদ্ধি না পায় যাহাতে এই aquifer-এ অবাঞ্ছনীয় (অর্থাৎ লবণাক্ত বা অন্য কোন প্রকার দূষিত) জলধারার প্রবেশ ও সংমিশ্রণ সম্ভব হয় ; এবং (c) জলপীঠ অত্যধিক নামিয়া যাওয়ায় জলোত্তোলনের ব্যয় অতিশয় বেশী ও সাধ্যাতীত না হইয়া পড়ে।

রীতিসঙ্গত উপায়ে ভূজলবিষয়ে অনুসন্ধানসূচীতে নিম্নোক্ত বিষয়গুলি প্রধানতঃ অন্তর্ভুক্ত :

(i) অববাহিকার জলপীঠের ঋতুভেদে মানচিত্র প্রস্তুতকরণ, ভূজলের পুনঃপূরণের প্রথা এবং পরিমাণ নিরূপণ ও উহার রাসায়নিক সংযুক্তির (composition) নির্ণয় ;

(ii) ভূপৃষ্ঠে প্রবাহিত জলের সহিত সেই স্থানের ভূজলের সম্পর্ক এবং একের অন্যের উপর প্রভাবের অধ্যয়ন ;

(iii) Aquifer সমূহ ভূজলের প্রবাহের গতি নির্ধারণ ;

(iv) উপকূলাঞ্চলে সুজলপূর্ণ aquifer সমূহে লবণাক্ত জলের অনুপ্রবেশজনিত সমস্যার অধ্যয়ন ; এবং

(v) ভূপৃষ্ঠে জলের অন্তর্স্রাবের ব্যাঘাতজনিত জমির উপরিভাগ জলমগ্ন হওয়ার সমস্যার নিরূপণ ।

বহুদেশে ভূজলই মানবজীবন ধারণের একমাত্র ভরসা । তাহা ছাড়া অনেক ক্ষেত্রে ছোট ছোট নদী নালার জলপ্রবাহ অন্তর্বাহী ভূজলের দ্বারা পুষ্ট হয় । ভূজল একটি গুরুত্বপূর্ণ দেশীয় সম্পদ হিসাবে গণ্য হয় । মানব-জীবনের জাতীয় কল্যাণে কয়লা, লৌহ প্রভৃতির ন্যায় ভূজলেরও অবদান খুব বেশী । সুতরাং ইহার সংরক্ষণ ও সুষ্ঠু বণ্টন বিশেষ প্রয়োজন । ইহা আগেই বলিয়াছি যে বৃষ্টিপাতের পরিমাণের কম বেশীর সঙ্গে ভূজলের পরিমাণেরও কম বেশী হয় । প্রতি বৎসরই সমান বর্ষন হয় না । কোন কোন বৎসরে অতিবর্ষণের পর অব্যবহিত এক বা দুই বৎসর অনাবৃষ্টি হেতু aquifer-এর পুনঃপূরণ সম্ভব হয় না । ফলে জলপীঠ গভীর হইতে গভীরতর হইয়া পড়ে এবং ভূজলের সরবরাহে ঘাটতি দেখা দেয় । এমনকি কূপগুলি প্রায় শুকাইয়া যায় । যে স্থানের বসবাসীগণ সম্পূর্ণ মাত্রায় ভূজলের সরবরাহের উপর নির্ভরশীল, তাহাদের লক্ষ্য রাখিতে হইবে যাহাতে ভূজলের সংগ্রহের মাত্রা ঐ স্থানের aquifer-এর পুনঃপূরণের মাত্রাপেক্ষা বেশী না হয় । এই ব্যবস্থার ব্যতিক্রম ঘটিলে ভূজলের সরবরাহে নানারূপ জটিল সমস্যা দেখা দেয় । তবে ভূজলের বাষ্পীয় আকারে অপচয়ের সম্ভাবনা নাই বলিলেই চলে এবং সংক্রামিত হওয়ার আশঙ্কাও খুবই কম । পূর্বেই বলা হইয়াছে যে সাধারণতঃ ভূপৃষ্ঠের যে কোন জলবাহী নদী নালার অব্যবহিত নিম্নে ভূতলে ভূজলও প্রবাহিত হয় । ইহা অন্তর্স্রাবের জন্য সম্ভব হয় । কিন্তু ভূতলে জলের গতিবিধির ব্যাঘাত ঘটিলে কয়েকটি বিশেষ স্থানে ভূজলের প্রাপ্তি সম্ভাবনা প্রায় বিলুপ্ত হয়, যদিও কয়েকটি নিকটবর্তী স্থানে ভূজল অধিক পরিমাণে অবরুদ্ধ অবস্থায় থাকে । এই সকল ক্ষেত্রে ঐ অবরুদ্ধ ভূজলের আধার হইতে নলকূপের সাহায্যে জল সংগ্রহ করিয়া ঘাটতি এলাকায় বণ্টনের ব্যবস্থা করিতে হয় । Aquifer-গুলির পুনঃপূরণ প্রাকৃতিক নিয়মেই অর্থাৎ বৃষ্টিপাতের দ্বারা অথবা ভূপৃষ্ঠে প্রবাহিত নদী নালার অন্তর্স্রাব হেতু সমাধা হয় । ইহা ছাড়াও বহু স্থলে কৃত্রিম উপায়ে এই পুনঃপূরণের ব্যবস্থা করা হয় । এই

কৃত্রিম উপায়ের মধ্যে জমির উপরে জলাশয় নির্মাণ করিয়া অথবা অল্প গভীর পরিখা খনন করিয়া ও সেগুলি জলে পূর্ণ রাখিয়া অন্তর্স্রাবের সহায়তা করা হয়। ফলে aquifer-গুলির পুনঃপূরণ সাধিত হয়। তবে ইহাও দেখা যায় যে aquifer-গুলি ভূজলে পূর্ণ হইয়া গেলে এই পুনঃ পূরণের ক্রিয়াজনিত অতিরিক্ত জল ভূতলে অনুপ্রবেশ না করিয়া বহিবাহী (Effluent) হইয়া পড়ে এবং ভূপৃষ্ঠে ছোট অল্প পরিসরের নদী বা নালারূপে প্রবাহিত হয়।

এই প্রসঙ্গে aquifer-এর জলশূন্য হইয়া পড়ার হেতু আনুষঙ্গিক একটি বিশেষ সমস্যার কথা উল্লেখ করিতেছি। ভূজলের অবস্থিতি হেতু সংপৃক্তি-মণ্ডলে শিলা বা মৃত্তিকাস্তরগুলির রন্ধ্রসমূহে যে জলকণা বিরাজ করে তাহার উর্দ্ধমুখী চাপের মাত্রা বেশ উল্লেখযোগ্য। অতিরিক্ত জল সংগ্রহের জন্য এই স্তরগুলি যদি জলশূন্য হইয়া পড়ে, তখন এই জলকণাজনিত উর্দ্ধচাপ প্রায় লোপ পায়। ভূপৃষ্ঠে ঐ সকল স্থানে যে সকল অট্টালিকা বা ভারী ইমারত ও অন্যান্য অতিবৃহৎ structures থাকে, সেগুলির ভারের চাপে ঐ জলশূন্য পাতালস্থিত স্তরগুলি নিষ্পেষিত হইয়া পড়ে এবং ফলে ঐ সকল structure সমূহের ভিত বসিয়া (Settle) যাওয়ায় উহাদের দেহে নানারূপ ফাটল দেখা দেয় এবং অন্যান্য ক্ষতি সাধন হয়। এইরূপ ক্ষেত্রে aquifer-গুলিতে shafts বা নলের সাহায্যে অতিরিক্ত চাপে জলের পুনঃ পূরণ করাইয়া সুফল পাওয়া গিয়াছে। উদাহরণস্বরূপ বলা যেতে পারে যে London শহরে ভূনিম্নে "London Clay" নামক একটি শিলাস্তর বিদ্যমান এবং এই স্তর হইতে পাম্পিং দ্বারা অতিরিক্ত জল আহরিত হওয়ার ফলে উপরিস্থ structure সমূহের অসমান settling হয় এবং উহাদের দেহে ফাটল দেখা দেয়। ভূতাত্ত্বিকগণের পরামর্শানুযায়ী পরে অতিরিক্তচাপে ঐ "London Clay" স্তরে জলের অনুপ্রবেশ করাইয়া পুনঃপূরণ করান হয় এবং এই structure-গুলি তাহাদের পূর্বের স্থিতাবস্থা ফিরিয়া পায় ও ফাটলগুলি মিলাইয়া যায়।

এতক্ষণ ভূজলের উপকারিতা, পরিমান নির্ণয়, সংরক্ষণ ও সুষ্ঠু বণ্টন ইত্যাদি সম্বন্ধে বিস্তৃত ভাবে আলোচনা করা হইল। এক্ষণে ইহার স্থান-বিশেষে অবস্থিতি হেতু গঠনকার্য্যে এবং কৃষি উন্নয়নে অসুবিধা ও বিঘ্নসৃষ্টি এবং তাহাদের প্রতিকার সম্বন্ধে কিছু আলোচনা করা হইতেছে। ভারী গঠন কার্য্যের জন্য সাধারণতঃ ভিত্তিস্থাপন ভূপৃষ্ঠ হইতে বেশ কিছু নিম্নে করিতে হয়, কিন্তু বহুস্থানে জলপীঠ বা aquifer-এর বেধ স্বল্প

হওয়ায় খনন কার্য্যে ভূজল বিশেষ বিঘ্ন ঘটায়। ইহার প্রতিকার করে ঐ সকল স্থানে aquifer বা জলপীঠের লেভেলের নিম্নে গভীর এবং ঢালু নালা কাটিয়া ঐ ভূজলের অবিবার সহায়তা করা হয় এবং ক্রমাগত পাম্পিং দ্বারা জলোত্তোলন করিয়া ভিত্তি গঠনের স্থানগুলি জলমুক্ত করা হয়। ইহার দ্বারা স্থানীয় জলপীঠেরও অবনমন ঘটে। যদি aquifer খুব মোটা হয় ও উহার প্রবেশ্যতার মান বেশী হয় এবং ভিত্তিস্থাপনের জন্য অধিক-মাত্রায় খনন করিতে হয়, সে ক্ষেত্রে টারবাইন (Turbine) পাম্পের সাহায্যে জলোত্তোলনের মাত্রা বাড়াইয়া ঐ স্থান জলমুক্ত করা হয়। ইহার দ্বারা গঠন কার্য্যের অসুবিধা দূর হয়।

পূর্বে বলা হইয়াছে যে surface water খালের সাহায্যে কৃষিকার্য্যে সেচের জন্য অধিক পরিমাণে ব্যবহৃত হওয়ায় এবং ভূতলস্থ সংপৃক্তিমণ্ডল ভূজলে পরিপূর্ণ থাকায় ক্ষেতের জমিতে জল জমিয়া যায় এবং মৃত্তিকার ক্ষার লবণাংশ এই জলে মিশ্রিত হইয়া ঐ সকল ক্ষেতের উপরিভাগে বিরাজ করে এবং জমির উর্ব্বরতা বহুলাংশে হ্রাস পায়। সুতরাং কৃষিকার্য্যে ভূজল যেরূপ surface water-এর অভাবে সেচের সহায়তা করে, সেইরূপ ইহা surface water-এর সংশ্লিষ্ট কৃষিকার্য্যে দারুণ বিঘ্নেরও সৃষ্টি করে। এইরূপ পরিস্থিতিতে যেখানে ক্ষেতে জল জমিতে দেখা যায়, সেই সকল স্থানে ক্ষেতগুলির অদূরে গভীর খাদ খনন করিয়া aquifer-এর জল নিকাশের বন্দোবস্ত করা হয় এবং ক্ষেতগুলিকে জলমুক্ত ও লবণাক্ষার হইতে উদ্ধার করা হয়।

আমাদের দেশে ইতিমধ্যে কয়েকটি অববাহিকার ভজলের অনুসন্ধান, কঠিন ও নরম শিলাস্তরে তাহার প্রাপ্তির সম্ভাবনা এবং উহার সুষ্ঠু বণ্টন ও সংরক্ষণ সম্বন্ধে সমীক্ষা করা হইয়াছে।

ষষ্ঠ অধ্যায়

বাঁধ

বাঁধ পরিকল্পনার সহিত কারিগরী ভূবিদ্যার সম্পর্ক

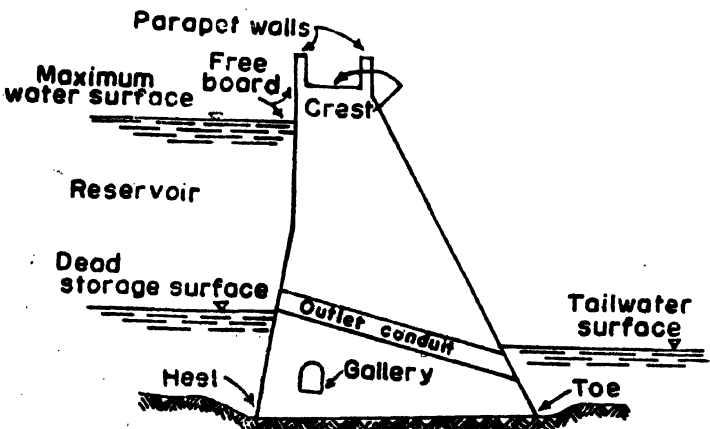
বহুমুখী বাঁধ পরিকল্পনায় এবং তাহার উপযুক্ত স্থান নির্ণয়ে ও গঠন-কার্য্যের সহায়তায় কারিগরী ভূবিদ্যার অবদান সম্বন্ধে ইতিপূর্বে সাধারণভাবে বর্ণিত হইয়াছে। এক্ষণে বাঁধের প্রকারভেদে উহাদের ভিত্তিস্থাপনের বৈশিষ্ট্য এবং স্থান বিশেষে গঠনকার্য্যে অত্যাবশ্যক পদ্ধতি অবলম্বনের ও আনুষঙ্গিক সমীক্ষার বিশদরূপে আলোচনা করা হইতেছে। এই কার্য্যে কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের দায়িত্ব বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। যে কোন বাঁধ নির্মাণে প্রচুর অর্থ বিনিয়োগ হয় এবং ইহার যথোপযুক্ত স্থান নির্ণয়ে ও ভূতাত্ত্বিক গুণাগুণের উপযুক্ত অনুসন্ধান ও বিচারের (Interpretation) উপর নির্মাণ কার্য্যের সফলতা নির্ভর করে। এমনকি অপেক্ষাকৃত কম গুরুত্ব-পূর্ণ ত্রুটীর ঠিকমত বিশ্লেষণের অভাবে বহু অর্থের বিনিময়ে নির্মিত বাঁধের স্থিতিশীলতা বিপজ্জনক হইয়া পড়ে অথবা নানারূপ সমস্যার সৃষ্টি করে। সে কারণ প্রতিটি আনুষঙ্গিক ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান যে অতিশয় পুঙ্খানুপুঙ্খ-রূপে করা প্রয়োজন, সে বিষয়ে দ্বিমত থাকিতে পারে না।

যে কোন অতি বৃহদাকারের কারিগরী গঠনগুলির সহিত বাঁধের গঠন-জনিত প্রভেদ মূলতঃ তিন প্রকারের। প্রথমতঃ বাঁধ সর্বদাই উপত্যকায় গঠিত হয়। দ্বিতীয়তঃ ইহা পৃথিবীর বুকে অল্প পরিসর জায়গা জুড়িয়া থাকিলেও ইহার নির্মাণে অসাধারণ পরিমাণের অতীব বৃহদাকারের গঠনবস্তুর সমাবেশ হয় এবং তজ্জনিত অবরুদ্ধ জলসম্ভারের ও বাঁধের ওজনের নিমিত্ত উহার ভিত্তির উপর অতি গুরু চাপের সৃষ্টি হয়। তৃতীয়তঃ ঐ অবরুদ্ধ বিশাল জলসম্ভারের ধ্বংসাত্মক প্রভাব বাঁধের ও তাহার ভিত্তির উপর সদা সর্বদাই বিরাজ করে যাহার ফলে বাঁধের ক্ষয়সাধন (Erosion) ও জলাধার হইতে ক্ষরণ (Leakage), এমন কি বাঁধের পতন (Failure) অবধি হইবার সম্ভাবনা থাকে।

বাঁধের শ্রেণীভাগ—পূর্বেই বলা হইয়াছে যে বাঁধ নির্মাণের মুখ্য উদ্দেশ্য কৃত্রিম হ্রদ বা বৃহদাকার জলাশয় সৃষ্টি করা এবং তদ্বারা শিল্পের, পানীয়ের ও সেচের প্রয়োজনীয় জলসরবরাহ ; বন্যা নিয়ন্ত্রণ ; জলবিদ্যুৎ শক্তি উৎপাদন এবং পলি নিয়ন্ত্রণ প্রভৃতি সমস্যার অতি আবশ্যকীয় সমাধান করা। সকল বাঁধই উপরোক্ত উদ্দেশ্যগুলির একই সাথে সমাধান করে

নির্মিত হয় না। পৃথক পৃথক প্রয়োজনবোধে বিভিন্ন প্রকারের বাঁধ নির্মাণ করা হয়। তবে একের অধিক সমস্যার সমাধান প্রায় প্রতিটি বাঁধের দ্বারাই সম্ভব এবং কয়েকটি সমস্যার একই সাথে সমাধানকল্পে যে বাঁধ নির্মিত হয়, তাহাকে Multipurpose বা "বহুমুখী বাঁধ" আখ্যা দেওয়া হয়। যে সকল বস্তুর দ্বারা বাঁধ নির্মিত হয়, সেই বস্তুবিশেষের নামানুযায়ী বাঁধের শ্রেণীবিভাগ করা হয়, যথা—(a) Masonry dam, (b) Earth dam, (c) Rock-fill dam, ইত্যাদি। বেশীর ভাব বৃহদাকার Masonry বাঁধগুলি বর্ত্তমানে কংক্রীটের নিম্মিত, যদিও অনেক বড় বড় বাঁধ সুসজ্জিত (Dressed) প্রস্তর খণ্ডের সাহায্যে গঠিত হয়। স্থানবিশেষে কোন প্রকারের বাঁধ স্থায়ী হইবে তাহা নির্ণয় করা হয় এবং ইহা নির্ধারণের পূর্বে বহু বিষয়ে উপযুক্ত অনুসন্ধান করা হয়। সর্বোপরি অনুসন্ধানের বিষয় হয় বাঁধের স্থিতিশীলতা এবং নিরাপত্তা সম্পর্কে। ইহার পরেই বাঁধ নির্মাণের খরচের মাত্রা ও পরবর্তীকালে তাহার রক্ষণকল্পে বাৎসরিক ব্যয়। নিরাপত্তার ব্যাপারে বাঁধের প্রস্তাবিত ভিত্তি এবং যোগবাহু (Abutments) যথাযথ স্থায়ী হইবে কি না সেই বিষয়গুলির সমীক্ষা অগ্রাধিকার পায়। সেইসাথে ঐ প্রস্তাবিত গঠনকার্য্যের ব্যয় ও প্রয়োজনীয় গঠনবস্তুসমূহের সহজসাধ্য সরবরাহের ব্যাপারও বিশেষ অনুসন্ধানের বিষয়বস্তু হয়।

এই সকল বিষয়ে সবিশেষ আলোচনার পূর্বে বাঁধ সম্পর্কে কয়েকটি অবশ্য জ্ঞাতব্য আখ্যার (Terms) সম্বন্ধে আলোচনা করা হইতেছে।

Fig. 3

Schematic cross section of a dam

পূর্ব পৃষ্ঠার চিত্র হইতে কয়েকটি Terms সম্বন্ধে বোধগম্য হইবে।
Abutments—উপত্যকার দুই পাশের ঢালু গায়ের উপর যেখানে বাঁধের ঠেস থাকে সেইস্থানকে ভূতাত্ত্বিকের ভাষায় abutments বলে। অবশ্য ইঞ্জিনীয়ারগণ বাঁধের যে দুই অংশ উপত্যকার দুই পাশে প্রোথিত হয় তাহাদের abutments বলেন।

Heel of the dam—ইহা বাঁধের upstream দিকের ভিত্তিসংলগ্ন অংশ।

Toe of the dam—বাঁধের downstream দিকে ভিত্তিসংলগ্ন স্থানকে এই আখ্যা দেওয়া হয়।

Crest—বাঁধের সর্বোচ্চ অংশকে crest বলে এবং ইহার উপর দিয়া পায়ে চলা পথ ও যানবাহনের যাতায়াতের ব্যবস্থা থাকে। এই কারণে নিরাপত্তার হিসাবে বাঁধের উপরে দুই পার্শ্বে পাঁচিল দ্বারা ঘিরিয়া দেওয়া হয়।

River section—বাঁধের মধ্যবর্তীস্থান যাহা নদী বা জলপথের অব্যবহিত উপরিভাগে থাকে অথবা ঐ উপত্যকার যে অংশ দিয়া নদী প্রবাহিত হয়, সেই সংলগ্ন বাঁধের অংশকে এই নামে অভিহিত করা হয়।

Free board—বাঁধজনিত জলাধারে অবরুদ্ধ জলের সর্বোচ্চ লেভেল ও বাঁধের সর্বোচ্চ স্থানের মধ্যে যে উচ্চতার পার্থক্য থাকে তাহাকে এই আখ্যা দেওয়া হয়।

Axis of the dam—ইহা একটি কাল্পনিক রেখা যাহা কল্পিত বাঁধের crest-এর অনুপ্রস্থিকার (Plan) ঠিক মধ্যস্থান দিয়া অঙ্কিত হয়, যদিও বাস্তবক্ষেত্রে ইহা একটি নির্দেশ (Reference) জ্ঞাপক রেখা।

Cross-section of the dam—ইহা সাধারণতঃ বাঁধের axis-এর লম্বাদিকে উর্ধ্বাধ তলে (Vertical plane) অঙ্কিত হয়।

Galleries—বাঁধের দেহের মধ্যে কতকগুলি নির্মিত প্রকোষ্ঠকে এই আখ্যা দেওয়া হয়। এইগুলি বাঁধের দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ দুইদিকেই প্রসারিত হয় এবং সমতল পর্য্যায়ের অথবা কিছুটা ঢালু হয়। এই প্রকোষ্ঠগুলি থাকায় বাঁধের ভিত হইতে অথবা জলাধারের দিক হইতে ক্ষরণজনিত যে জল বাঁধের দেহে জমে তাহার নিষ্কাশনে এবং বাঁধের দেহে ফাটল পূর্ণকরণের (Grouting) জন্য ছিদ্রকরণের (Drilling) কাজে বিশেষ সুবিধা হয়। সর্বোপরি বাঁধের কার্য্যকরী সফলতার মান নির্ণয়ে যন্ত্রাদি

স্থাপনার ও তাহাদের ক্রিয়াকলাপের নিরীক্ষণে এই প্রকোষ্ঠগুলি বিশেষ সহায়তা করে।

Dead-storage water surface—বাঁধের জলাধার হইতে নির্ধারিত সর্বোচ্চ মাত্রায় জল সংগ্রহের পর সঞ্চিত জলের যে লেভেল পরিলক্ষিত হয়, তাহাকে এই আখ্যা দেওয়া হয়। যে কোন বাঁধের প্রকল্পানুযায়ী এই উচ্চতার মাপ স্থির করিয়া দেওয়া হয় এবং এই লেভেল সদাসর্বদাই স্থিতিশীল রাখা হয়। অধিক মাত্রায় জলসংগ্রহের দ্বারা এই উচ্চতার অঙ্ক হ্রাস পাইতে দেওয়া হয় না। বাঁধের জলাধারের এই উচ্চতার মাপ স্থির করিয়া দেওয়ায় যে পরিমাণ জল সঞ্চিত থাকার অনুমান করা হয়, উহার মধ্যে সঞ্চিত পলিমাটির মাপ অন্তর্ভুক্ত থাকে। সুতরাং বাঁধের প্রকল্প প্রস্তুতের সময়ে জলাধারে কি পরিমাণে পলিমাটি জমিবার সম্ভবনা তাহার হিসাব করা হয় এবং তদনুযায়ী কেবলমাত্র জলসম্ভারের বাঞ্ছিত পরিমাণের সংরক্ষণের জন্য বাঁধের উচ্চতা নির্ধারিত হয়।

Minimum water surface—বাঁধের জলাধারে সঞ্চিত জল বিদ্যুৎ শক্তি উৎপাদনের জন্য অথবা সেচের ও জনসাধারণের ব্যবহারের নিমিত্ত যতটা নিম্নতল (Lowest level) হইতে সংগ্রহ করা সম্ভব হয়, সেই জলতলকে (Water level) এই নামে অভিহিত করা হয়।

Maximum water surface—বাঁধের জলাধারে জল সঞ্চয়ের পরিমাণ যতটা অবধি বাড়িতে দিলে বিনা নিস্রাবে (spilling) এবং বাঁধের উপর দিয়া বহিতে না দিয়া ঐ জল ধরিয়া রাখা যায়, সেই জলস্তম্ভের (Water column) উচ্চতাকে এই আখ্যা দেওয়া হয়।

Tail water—বাঁধের নিম্নদিকে (Downstream) সাধারণ নিঃস্রাবহেতু অথবা বিদ্যুৎ শক্তি উৎপাদন শেষে নিষ্ক্রমণের পর যে জল ঠিকরাইয়া পড়ে ও বাঁধের তলদেশে (Toe of the dam) প্রতিঘাত হয় তাহাকে এই নামে অভিহিত করা হয়।

MASONRY DAM

পূর্বে বলা হইয়াছে যে বিভিন্ন প্রকারের উপকরণের দ্বারা বাঁধ নির্মাণ করা হয় এবং এই উপকরণ বিশেষে ইহাদের শ্রেণীভাগ হয় যথা—Masonry Dam, Earth Dam, Rock-fill Dam ইত্যাদি। প্রথমে Masonry Dam ও তাহার অনুবন্ধ (Appurtenance) সম্বন্ধে সবিশেষ আলোচনা করা হইতেছে। সাধারণতঃ Masonry Dam বলিতে যে বাঁধ

কংক্রীট (Concrete) বা শক্ত পাথরে গাঁথা তাহাই বুঝায়। এই Masonry Dam আবার গঠন প্রণালীর তারতম্য হেতু তিন প্রকারে বিভক্ত যথা—(a) Gravity Dam, (b) Buttress Dam, এবং (c) Arch Dam।

(a) Gravity Dam-এর axis স্থানীয় স্থলাকৃতির সর্বাপেক্ষা সুবিধাজনক অবস্থা লাভের জন্য সরল রেখা বিশিষ্ট, কিংবা উজানদিকে (Upstream) ঈষৎ বক্র অথবা উভয় প্রকারের সম্মিলনে হয়। ইহার তির্য্যকচ্ছেদ্ (Cross section) সাধারণতঃ ত্রিভুজাকারের হয়। এই প্রকার বাঁধ নির্মাণের জন্য ত্রুটিবিহীন একই ধরণের প্রস্তরময় বনিয়াদ সর্বোপরি কাম্য, কিন্তু অবস্থা বিশেষে ভগ্ন এবং বিভিন্ন রকমের প্রস্তরের সমন্বয় জনিত বনিয়াদের উপর এমনকি যেস্থলে পূর্বতন নদীবক্ষ উপোপল (Gravel) বা সাল (Boulder) দ্বারা পরিপূর্ণ (River-fill) হইয়াছে, সেইরূপ বনিয়াদের উপরও Gravity Dam-এর নির্মাণ সফল ও স্থায়ী হইয়াছে। স্থলাকৃতি যদি বিস্তৃত গভীর খাতের (Canyon) আকারের হয় এবং খাতের পার্শ্বস্থ ভূমির ঢাল বেশ কম (Gentle slope) হয়, এরূপ স্থান বিশেষে দেখা গেছে Gravity Dam-এর নির্মাণ সহজসাধ্য ও অপেক্ষাকৃত অল্প ব্যয়ে সম্ভব।

(b) Buttress Dam প্রধানতঃ উজান দিকে ঢাল সম্পন্ন কংক্রীটের শিলাতল (Slab) ও উহার ঠেস হিসাবে খাড়া (Vertical) দেওয়াল (Buttress) সমূহের দ্বারা সমন্বিত। এই কংক্রীটের Slab (Deck নামে অভিহিত) জলাধারের দিকে ঢালসম্পন্ন হওয়ায় উহাকে জলের চাপ (ভার) বহন করিতে হয় এবং buttress-গুলি ঐ জলের চাপ উহাদের বনিয়াদে সঞ্চারিত করিয়া দেয়। এই প্রকারের বাঁধ নির্মাণে ব্যয় অপেক্ষাকৃত কম হয় কারণ কংক্রীটের পরিমাণ তুলনামূলক হিসাবে অনেক কম ব্যবহৃত হয় এবং বনিয়াদ খনন ও তাহার প্রস্তুতির পরিমাণও অনেক অল্প। তবে এই প্রকারের বাঁধের বনিয়াদ অত্যন্ত মজবুত হওয়া প্রয়োজন, কারণ buttress-গুলি সাধারণতঃ সরু হওয়ায় এইগুলি অতিশয় ভারের চাপে থাকে এবং সেই চাপ নিম্নস্থ বনিয়াদে সঞ্চারিত হয়। তবে বিভিন্ন buttress-এর মধ্যে ফাঁকা জায়গাগুলি ভারশূন্য অবস্থায় থাকায় সংলগ্ন buttress-গুলি জলের ভারের চাপে বসিয়া যাওয়ার সম্ভাবনা থাকে এবং ফলে ঐ ভারশূন্য স্থানগুলির উপরের দিকে ফুলিয়া উঠার বিপত্তি দেখা দেয়। কিন্তু Gravity Dam এইরূপ বিপত্তির সম্মুখীন হয় না, কারণ ইহার গঠনের

যায়। নিম্নস্থ বনিয়াদের সারা অংশই আচ্ছাদিত থাকে। তবে buttress-গুলির মধ্যে এই শূন্য স্থানগুলি জল নিকাশনের কাজে অথবা বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন কেন্দ্রের প্রতিষ্ঠায় সহায়তা করে। দেখা গেছে যে যদি কোন নদী বিস্তৃত খাতের আকারে হয় এবং উহার পাড়গুলির ঢাল অল্প হয় অথচ সেই স্থানে বাঁধ নির্মাণ ও বাঁধের গাত্রেই নিকাশন পথ (Spillway) রাখার পরিকল্পনা করিতে হয়, সেরূপক্ষেত্রে Buttress Dam নির্মাণ সর্বাপেক্ষা সুবিধাজনক এবং অপেক্ষাকৃত অল্পব্যয়ে উহার নির্মাণ সম্ভব হয়।

(c) Arch Dam একটি কংক্রীটের দেওয়াল বিশেষ, তবে ইহা খিলানের (Arch) আকারের এবং ইহার উত্তল (Convex) দিকটি জলাধার অভিমুখে থাকে। এই খিলান আকার হেতু এইরূপ বাঁধের উপর জলাধারে সঞ্চিত জলের চাপ দুই পাশের প্রস্তরময় abutments-এর উপর কতকাংশে সঞ্চারিত হয় এবং বাকী চাপ বাঁধের মধ্য দিয়া বনিয়াদের উপর পড়ে। যদি Arch Dam-এর design এরূপ হয় যে ঐ চাপের মাত্রা সমভাবে উপরোক্ত উপায়ে বণ্টন করা সম্ভব হয়, সেক্ষেত্রে এই আকারের বাঁধকে Gravity-Arch অথবা Arch-Gravity Dam আখ্যা দেওয়া হয়। আমরা দেখিয়াছি যে প্রাচীন বৃহদাকারের অট্টালিকা ও সেতুসমূহের নির্মাণে খিলানের ব্যবহার অধিকমাত্রায় করা হইত এবং এই খিলানগুলিই গুরুভার সাফল্যের সহিত বহন করিত। তবে বাস্তুবিদগণ এই সব গঠনকার্য্যের design এরূপভাবে প্রস্তুত করিতেন যে ঐ খিলান সমূহের ঠেস যে দেওয়ালগুলির উপরে থাকিত, পরিশেষে সেই দেওয়ালগুলিই ঐ খিলান-সমূহের উপরে ন্যস্ত চাপ বহন করিত। সেই প্রথানুযায়ী এই Arch Dam-এর design'ও এরূপ হয় যে dam-এর উপরে চাপ abutments-গুলির উপরে অধিক মাত্রায় সঞ্চারিত হয় এবং সেই কারণে abutments-গুলি যতদূর সম্ভব দৃঢ় ও অটল অবস্থার হওয়া একান্ত বাঞ্ছনীয়। Arch Dam-এর দৃঢ়তা এইরূপ গুণসম্পন্ন abutments-এর সহিত সংযুক্তির উপরে বহুলাংশে নির্ভরশীল। এই বিষয়ে পরে বিশদরূপে আলোচনা করা হইয়াছে।

পর পৃষ্ঠার চিত্রগুলি হইতে Gravity Dam-এর আকার ও তাহার আনুষঙ্গিক অনুবন্ধগুলি এবং ঐ বাঁধের উপর উহার জলাধারে সঞ্চিত জলের ও পলিমাটির (Silt) চাপের ক্রিয়া পদ্ধতি কিছুটা বোধগম্য হইবে।

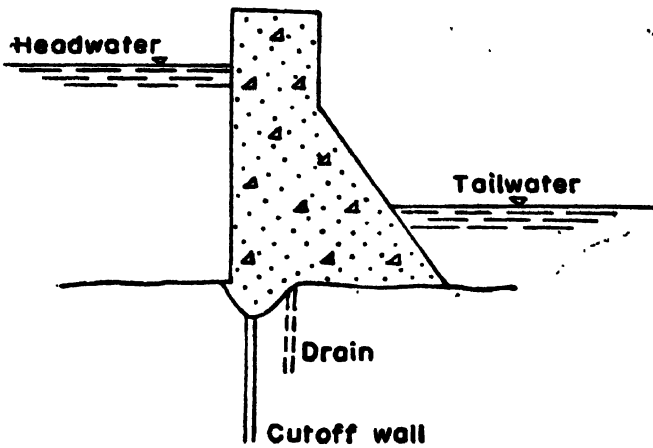
Fig. 4

Schematic cross section of a gravity dam

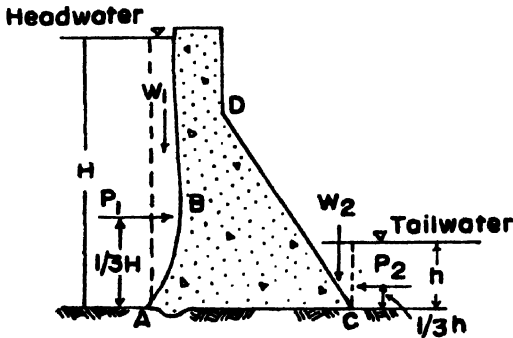
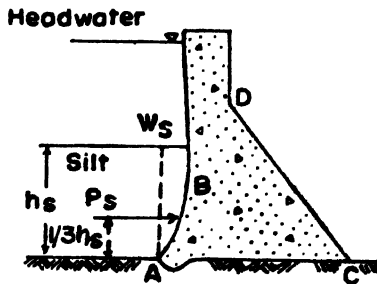
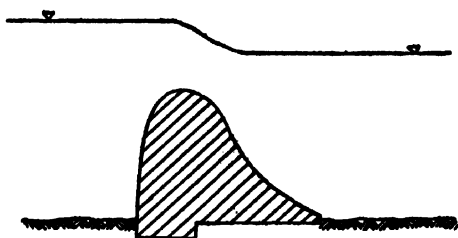
Fig. 5

Water loads on a gravity dam
(W_1 & W_2 are weights of water ; P_1 & P_2 are lateral water pressures).

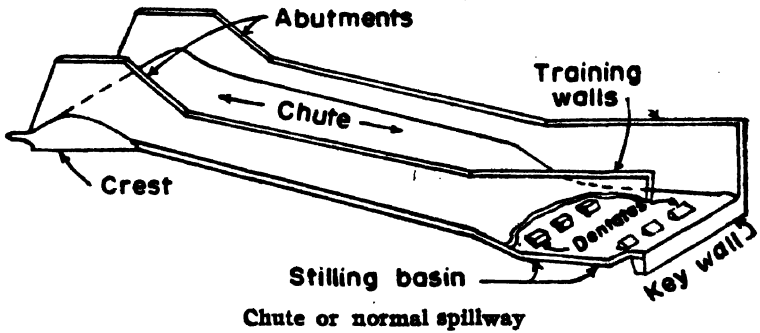
Fig. 6

Silt loads on a gravity dam
(W_s is weight of silt ; P_s is lateral pressure exerted by silt).

Spillway—ইহা বাঁধের একটি বিশেষ অঙ্গ (Appurtenance) এবং ইহা বাঁধের জলাধারে maximum water surface-এর উর্দ্ধে জলের মাত্রা বর্ধিত হইলে ঐ বাড়তি (অতিরিক্ত) জল বাঁধের উপর দিয়া অথবা পার্শ্ববর্তী কোন স্থান দিয়া বাহির করিয়া দেয়। এই কার্য্য এমনভাবে সাধিত হয় যাহাতে বাঁধের বা তাহার জলাধারের পার্শ্ববর্তী সংরক্ষণকারী দেওয়ালগুলির এবং বাঁধের বনিয়াদের কোনরূপ ক্ষয়ক্ষতি না হয়। এই spillway কংক্রীটের নির্মিত হয় এবং ইহার গঠনাকার কয়েক প্রকারের হয়। ইহার নির্মাণে বিশেষ যত্ন, সতর্কতা ও কারিগরী কৌশলের প্রয়োজন। সাধারণতঃ জলনিষ্কাশন কার্য্য বাঁধের সর্বোচ্চ (Crest) স্থান দিয়া করান হয়। ফলে বন্যার সময়ে এই প্রকারের বাঁধগুলি সম্পূর্ণ জলমগ্ন (Submerged) অবস্থায় থাকে এবং এইরূপ গঠনের বাঁধকে Overflow dam বা submerged dam বলা হয়। নিম্নের ছবি হইতে ইহার আকার সম্বন্ধে সঠিক ধারণা করা সম্ভব হইবে।

Fig. 7

Submerged dam.

অনেকক্ষেত্রে এই প্রকারের বাঁধের crest-এর কিয়দংশে অতিরিক্ত জলের নিষ্কাশনের সংস্থান থাকে এবং সেই কারণে ঐ স্থানটিতে সেতু-নির্মাণের পদ্ধতিতে নিষ্কাশন পথের দেওয়াল (Abutment) ও স্তম্ভ (Pier) গঠন করা হয়। এইরূপ নিষ্কাশনপথে দরজা বসাইয়া প্রয়োজনবোধে সম্পূর্ণ খোলার অথবা কতকাংশ বন্ধ করার ব্যবস্থা থাকে। বাঁধের জল নিষ্কাশনপথ (Spillway) নানা ধরণের হয়। সাধারণতঃ নিষ্কাশনপথ সমকোন বিশিষ্ট খোলা জলবাহী নালার আকারে গঠিত হয় এবং ইহাকে

normal spillway বলা হয়। ইহার দ্বারা জলাধারের অতিরিক্ত জল বাঁধের নিম্নদিকে উপত্যকায় প্রবাহিত হয়। অনেকক্ষেত্রে এই জল একটি অল্প পরিসরের নালী অতিক্রম করিয়াই সংলগ্ন কংক্রীট নির্মিত একটি অতি ঢালু পথ (Chute) দিয়া নিম্নে প্রবাহিত হয়। এইরূপ ধরণের নিকাশন পথকে Chute spillway আখ্যা দেওয়া হয়। বস্তুতঃ ইহা normal spillway-রই নিম্নাংশ। নিম্নের চিত্র হতে ইহার সম্বন্ধে ধারণা করা যাইবে।

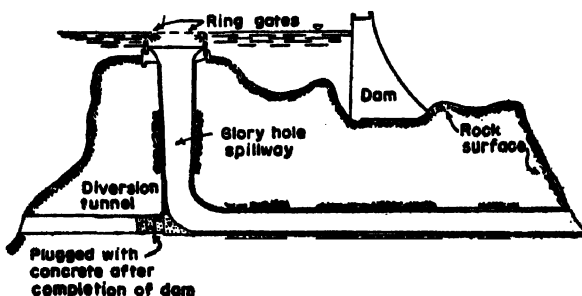
Fig. 8

Chute or normal spillway

এইরূপ নিকাশন পথ উহার সর্বোচ্চ (crest) স্থান হইতে নিম্ন তলদেশ অবধি দুই পার্শ্বে কংক্রীট নির্মিত দেওয়াল দ্বারা সীমাবদ্ধ থাকে যাহাতে বন্যার সময়ে জল অধিক মাত্রায় উঁচু জায়গা (crest) হইতে জলপ্রপাতের আকারে সবেগে ঠিকরাইয়া পড়ার জন্য পার্শ্ববর্তী স্থানসমূহের ক্ষয়ক্ষতি না হয়। এই দেওয়ালগুলিকে সেই কারণে নিয়ন্ত্রণকারী দেওয়াল (Training Wall) বলা হয়। এই training wall-গুলির দ্বারা Chute spillway-র পার্শ্ববর্তী স্থানগুলি রক্ষা পাইলেও উহার তলদেশকে অধিকমাত্রায় নিষ্কাশিত জলের সবেগে পতন জনিত আঘাত ও সংশ্লিষ্ট ক্ষয়ক্ষতি হইতে নিবারণের জন্য Chute-এর পদপ্রান্তে গভীর খাত খনন করা হয়। এই খাত গভীর জলাশয়ের আকার ধারণ করে এবং ইহার design এরূপ হয় যাহাতে বাঁধের জল নিষ্কাশিত হইয়া ভয়ানক বেগে বহু উচ্চস্থান হইতে নিম্নে পড়িলেও উহার গতিবেগ ও ক্ষয়ক্ষতির ক্ষমতা এই তলদেশস্থিত গভীর খাতগুলির দ্বারা বহুল পরিমাণে দমন করা সম্ভব হয়। সেই কারণে এই খাতগুলিকে Stilling basin বলা হয় এবং কখনও কখনও ইহাদিগকে Spillway bucket আখ্যাও দেওয়া হয়।

নিষ্কাশিত জলপ্রবাহের উদ্দাম শক্তির ও অশান্ত অবস্থার অধিকতর হ্রাসকল্পে অনেক স্থলে Spillway-র তলদেশে বড় বড় দাঁতের আকারে কংক্রীটের গাঁথনি প্রলম্বিত করা হয় এবং ইহারা ঐ কার্য্যে বিশেষ সহায়তা করে। এই প্রকার গাঁথনিগুলিকে energy dissipators অথবা dentates বলা হয়।

বাঁধের অতিরিক্ত জল নিষ্কাশনের জন্য আর একটি পদ্ধতি অবলম্বন করা হয় এবং এই নিষ্কাশনপথকে Side-channel spillway বলে। এই পদ্ধতিতে মূল বাঁধের axis-এর লম্বদিকে অথবা axis-এর সহিত ক্ষুদ্র কোণসম্পন্ন অবস্থায় একটি ছোট বাঁধ (Weir)-এর সাহায্যে জলাধারের অতিরিক্ত জল নিষ্কাশন করিয়া দেওয়া হয়। এই নিষ্কাশন পথ মূল বাঁধের পাশেই থাকে এবং খোলা নালী অথবা সুড়ঙ্গের আকারের হয়।

আর এক প্রকারের জল নিষ্কাশন পথকে Shaft spillway বলা হয়। ইহার আর একটি নাম Morning-glory বা Glory-hole spillway ; এই প্রকারের নিষ্কাশন পথ জলাধারের মধ্যেই উর্দ্ধ্বাধ (Vertical) অথবা অল্প তির্যক অবস্থায় চোঙ্গার আকারে কংক্রীট দ্বারা গাঁথা হয় এবং জলাধারের তলদেশ হইতে উহা অনুভূমিক (Horizontal) অবস্থায় সাধারণতঃ মূল বাঁধের নিম্ন দিয়া সুড়ঙ্গের আকারে downstream দিকে প্রলম্বিত করা হয়। এই চোঙ্গার মুখ (প্রবেশ পথ) বাঁধের জলাধারের maximum water surface-এর অব্যবহিত উপরে থাকে যাহাতে জলের মাপ বৃদ্ধি পাইলেই ঐ অতিরিক্ত জল আপনা হতেই নিষ্কাশিত হইয়া যায়।

Fig. 9

Glory-hole spillway cross section

উপরের চিত্র হইতে Glory-hole spillway-র কর্মপদ্ধতি বুঝা সহজ হইবে।

যে সকল ক্ষেত্রে বাঁধের গাত্র দিয়া নিকাশনের ব্যবস্থা করা হয়, সেক্ষেত্রে নিকাশন পথের মুখ কিছুটা প্রলম্বিত করিয়া দিলে ঐ অতিরিক্ত জল গুরুচাপের বশবর্তী হওয়ায় নিকাশন পথ হইতে সবেগে শূন্যে ধাবিত হইয়া বাঁধের toe হইতে বেশ কিছুদূরে পতিত হয় এবং ইহাতে বাঁধের toe ক্ষয়ক্ষতি হইতে রক্ষা পায় ও নিকাশিত জলের শক্তি অনেকাংশে লোপ পায়। Spillway কয় প্রকারের হয় তাহার বর্ণনা দেওয়া হইল। এই সকল spillway সাধারণতঃ বাঁধ নির্মাণের পরিকল্পনানুযায়ী গঠিত হয় এবং স্বাভাবিক বৃষ্টিপাতের ফলে বাঁধের জল যতটা বৃদ্ধি হওয়া সম্ভব সেই অনুপাতে এই spillway-র জল নিকাশন ক্ষমতা স্থির করা হয়। কিন্তু প্রাকৃতিক দুর্যোগ বশতঃ অনেক সময়ে কোন কোন বাঁধের অববাহিকায় অস্বাভাবিক মাত্রায় বৃষ্টিপাতের ফলে জলাধারে জলের পরিমাণ এরূপ মাত্রায় বৃদ্ধি পায় যে উহা কল্পিত spillway-র নিকাশন ক্ষমতাকে অনেকাংশে অতিক্রম করে এবং সেই সকল ক্ষেত্রে এই অভাবনীয় জল সম্ভার বাঁধ ছাপাইয়া বা জলাধারের পার্শ্বস্থ দেওয়াল লঙ্ঘন করিয়া পার্শ্ববর্তী অঞ্চলসমূহকে বন্যার কবলে ন্যস্ত করে। এইরূপ পরিস্থিতিতে বাঁধ ও সংলগ্ন গাঁথনিগুলি গুরুতর ক্ষয়ক্ষতির সম্মুখীন হয়। সুতরাং এই আকস্মিক পরিস্থিতির মোকাবিলা করার উদ্দেশে বাঁধ নির্মাণের পরিকল্পনায় আপৎকালীন নিকাশন পথেরও (Emergency spillway) সংস্থান রাখা হয়। বাঁধের জলাধারের সন্নিকটে যদি প্রাকৃতিক কোন খাঁজ (Saddle) থাকে, তাহা হইলে ইহার সহিত জলাধারের যোগসাধন করিয়া এই emergency spillway-র কার্য্য সমাধা করা হয়। অন্যথায় জলাধারের বেড়ের (Rim) কোন একটি সুবিধাজনক অংশে ছোট খাদ কাটিয়া ঐ স্থানে একটি ছোট বাঁধ (Weir) গাঁথা হয় যাহার উপর দিয়া এই আকস্মিক বর্ধিত জলরাশি নিকাশিত হইয়া যায়। তবে এই weir-এর বনিয়াদ খুব দৃঢ় হওয়া প্রয়োজন কারণ এইরূপ emergency spillway-কে অস্বাভাবিক জলের বেগের সম্মুখীন হইতে হয় এবং অনেকক্ষেত্রে ইহা ক্ষয়প্রাপ্ত হওয়ায় জলাধার আংশিক বা সম্পূর্ণ শূন্য হইয়া পড়ে।

MASONRY DAM-এর নির্মাণে সমস্যা

এই নির্মাণকার্য্যে যে সকল সমস্যার সম্মুখীন হইতে হয় বা নির্মাণে যে সকল ত্রুটী থাকায় বাঁধের ধ্বংসের আশঙ্কা থাকে সেই সকল বিষয়ে এখন আলোচনা করা হইতেছে। সাধারণতঃ mosonry dam নির্মাণের

সময়ে ও নির্মাণশেষে স্থিতীয় (Static) এবং গতীয় (Dynamic) এই দুই প্রকার চাপের দ্বারাই প্রভাবান্বিত হয়। স্থিতীয় চাপ লম্বভাবে (Perpendicularly) নীচের দিকে কাজ করে এবং বাঁধের নির্মাণে ব্যবহৃত কংক্রীট ও তাহার উপরিস্থ লোহার ফটক ইত্যাদি অন্যান্য ভারী বস্তুগুলির ওজন জনিত এই চাপ সৃষ্ট হয়। বাঁধের তলদেশের আকৃতি সাধারণতঃ জলাধারের দিকে ঢালবিশিষ্ট হয় এবং এই ঢালু অংশের উপর জলের (Fig. 8 দেখ) ও তৎসহ মিশ্রিত পলিমাটির (Fig. 9 দেখ) ভারও স্থিতীয় চাপ বৃদ্ধি করে। কিন্তু বাঁধের বেশীর ভাগ অংশ জলমগ্ন থাকায় যে প্লাবিতা (Buoyancy) চাপের সৃষ্টি হয়, উহা উর্ধ্বমুখী হওয়ায় নিম্নমুখী স্থিতীয় চাপের প্রভাব অনেকটা হ্রাস পায়। ইহা ছাড়াও বাঁধের সংলগ্ন ভূমির রন্ধ্রসমূহের মধ্যে বিদ্যমান জলবিন্দুর চাপ বাঁধের এবং তাহার বনিয়াদের উপর যথাক্রমে উর্ধ্বমুখে ও পাশের দিকে নাশমূলক চাপ সৃষ্টি করে। বাঁধের উপরে উহার জলাধারে সঞ্চিত জলরাশি ও পলিমাটির পার্শ্ব চাপ খুবই হানিকর এবং বাঁধের নির্মাণে ইহার প্রতিরোধ ব্যবস্থা সম্যকরূপে করিতে হয়। দৈনন্দিন ও বিভিন্ন ঋতুতে তাপের যে বৈষম্য ঘটে তাহাতেও বাঁধের উপর হানিকর প্রভাবের সৃষ্টি হয়। এই হানিকর প্রভাব Arch Dam-এর উপর বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয় এবং সেই কারণে Arch Dam-এর নির্মাণের design-এ ইহা বিশেষভাবে পরিগণিত হয়। বাঁধের জলাধারে তরঙ্গায়িত জল, বাঁধের শীর্ষস্থান ছাপাইয়া পড়া জল এবং সর্বোপরি ভূকম্পনজনিত অভিঘাত এই তিন প্রকার গতীয় চাপের প্রভাব বাঁধের উপরে খুবই উল্লেখযোগ্য ভূমিকা গ্রহণ করে এবং তাহাদের হানিকর প্রভাবের প্রতিরোধ ব্যবস্থা বাঁধের design-এ করা হয় ও নির্মাণকার্য্য সেই হিসাবে সম্পন্ন করা হয়।

MASONRY DAM-এর স্খলনহেতু ধ্বংসের কয়েকটি উদাহরণ

Masonry বাঁধ স্খলন (Slide) হেতু বহুক্ষেত্রে ধ্বংসপ্রাপ্ত হইয়াছে। জলাধারের অবরুদ্ধ জলরাশির অনুভূমিক গতীয় চাপ বাঁধকে সর্বদাই downstream দিকে ঠেলা দেয় এবং ইহার মাত্রা অতিশয় বৃদ্ধি পাইলে বাঁধের স্খলন ঘটায়। উদাহরণস্বরূপ কয়েকটি বাঁধের বিষয়ে উল্লেখ করা হইতেছে ; যথা—

(a) Austin Dam, Texas, U.S.A. ; এই কুড়ি মিটার উঁচু বাঁধটি Colorado নদীর উপর 1892 খ্রীষ্টাব্দে নির্মাণ করা হয়। ইহার

বনিয়াদে দ্রবণীয় ও সরন্ধ্র চুণাপাথর ছিল। উপরন্ত ঐ চুণাপাথরের স্তরগুলি সন্ধিবহুল ও চ্যুতিযুক্ত অবস্থায় ছিল এবং বাঁধটির নির্মাণকালে এই চ্যুতিমণ্ডল 22·7 মিটার চওড়া ছিল। 1893 খ্রীষ্টাব্দে এই বাঁধে ভাঙ্গন দেখা দেওয়ায় উহা মেরামত করা হইয়াছিল। কিন্তু চুণাপাথরের বনিয়াদে উপরোক্ত ত্রুটীসমূহ থাকায় বাঁধের toe-তে ক্রমান্বয়ে ক্ষয়সাধন হয় এবং অবিরাম প্রবল বর্ষণের ফলে 1900 খ্রীষ্টাব্দের 7th April এই বাঁধের downstream দিকে স্খলন হয়।

(b) St. Francis Dam, California, U.S.A. ; এই 62 মিটার উঁচু Gravity Dam-টি San Francisquito Creek-এর উপর নির্মাণ করা হইয়াছিল। আকারে ইহার প্রস্থ অধোভাগে ও শীর্ষদেশে যথাক্রমে 53 মিটার ও 4·8 মিটার ছিল। বাঁধের তলদেশ ও canyon-এর একদিকের দেওয়াল খচিত (Laminated) mica-schist জাতীয় শিলার উপরে অবস্থিত ছিল, কিন্তু অপরদিকের দেওয়ালটির তলায় লোহিতবর্ণের conglomerate পাথর ছিল এবং এই দুই ভিন্ন প্রকারের শিলাস্তরের সংযোগস্থলটি একটি চ্যুতিরেখা (Fault line) বরাবর ছিল। বাঁধটির কিয়দংশ mica-schist এবং বাকী অংশ conglomerate-এর উপর গঠিত হইয়াছিল ও ঐ চ্যুতিরেখাটি লঙ্ঘন করিয়াছিল। Conglomerate শুষ্ক অবস্থায় সাধারণতঃ খুব শক্ত থাকে, তবে জলে নিমজ্জিত থাকিলে উহা বিশরিত (Disintegrated) হইয়া পড়ে এবং পৃথক বালুকণা ও ক্ষুদ্র প্রস্তরখণ্ডে পরিণত হয়। 1926 খ্রীষ্টাব্দের 1st March হইতে এই বাঁধের জলাধারে জলসঞ্চয় আরম্ভ হইয়াছিল। কিছুকাল পরেই বাঁধের মধ্য দিয়া, বিশেষতঃ বনিয়াদ সংলগ্ন স্থান দিয়া জলক্ষরণ আরম্ভ হইয়াছিল এবং 1928 খ্রীষ্টাব্দের 12th March বাঁধটি ধ্বংসপ্রাপ্ত হয়। বাঁধটির স্খলন ঐ চ্যুতিরেখা বরাবর হইয়াছিল এবং উপরোক্ত conglomerate-এর বিশরণ (Disintegration) চরিত্র এই ব্যাপারে যথেষ্ট সহায়তা করিয়াছিল।

(c) Austin Dam, Pennsylvania, U.S.A. ; এই 15 মিটার উঁচু বাঁধটি 1909-1910 খ্রীষ্টাব্দের মধ্যে নির্মিত হইয়াছিল। বাঁধটির ভিত্তি বালুশিলার উপর ছিল, কিন্তু ঐ বালুশিলা শীর্ণ এবং শিথিল স্তরবিশিষ্ট হওয়ায় ও তন্মধ্যে শেল (Shale) এবং উপোপল (Gravel) অন্তর্নিহিত থাকায় 1910 খ্রীষ্টাব্দের প্রথমদিকেই বাঁধটিতে ফাটল দেখা দেয় ও অল্প অল্প স্খলনের নিদর্শন পাওয়া যায়। সর্বশেষে বনিয়াদের বালুশিলার

মধ্যে স্খলন হওয়ায় 1911 খ্রীষ্টাব্দের 30th September সাতটি বড় বড় অংশে বিভক্ত হইয়া ইহা ধ্বংসের মুখে পতিত হয়।

(d) Lake Gleno Dam, Italy ; এই 261·5 মিটার দীর্ঘ ও 43·3 মিটার উঁচু বাঁধটি Bergamo নগরের কাছে গঠিত হইয়াছিল এবং ইহার মধ্যবর্তী অংশটি Gravity পর্য্যায়ের ও বাকী অংশ কয়েকটি Arch-এর design-এ ছিল। বাঁধটির ভিত্তিস্থানের শিলাসংস্তরগুলি downstream দিকে নমিত (Dipping) ছিল। এই ত্রুটীর জন্য এবং নির্মাণকার্য্যে কিছু খুঁত থাকায় 1923 খ্রীষ্টাব্দের 1st December প্রবল বর্ষণের পর এই বাঁধের স্খলন হয়।

(e) Bouzey Dam, France ; এই 21·8 মিটার উঁচু Gravity Dam-টি প্রায় পনর বৎসর কার্য্যকরী থাকার পর 1895 খ্রীষ্টাব্দে ধ্বংসের মুখে পতিত হয়। বাঁধটির নীচের অংশটি বনিয়াদের উপর সংযুক্ত অবস্থায় ছিল, কিন্তু উহার উপরিভাগ ঐ অটল ও দৃঢ় নীচের অংশটির উপর হইতে হড়কাইয়া পড়ে। ইহা বলা হইয়াছে যে এই বাঁধটি বালুশিলা বনিয়াদের উপর অসম প্রস্থর খণ্ড (Rubble) দ্বারা নির্মাণ হইয়াছিল এবং ইহার নির্মাণ নিকৃষ্ট মানের ছিল।

MASONRY DAM-এর স্খলন সমস্যা

এখন এই সর্বনাশা স্খলন সমস্যা সম্বন্ধে আলোচনা করা হইতেছে। পূর্বে বলা হইয়াছে যে বাঁধের উপর স্থিতীয় এবং গতীয় এই দুই প্রকার চাপই যথাক্রমে উর্ধ্বাধ ও অনুভমিক দিকে কার্য্যকরী হয়। এই অনুভূমিক চাপ বাঁধের স্থানচ্যুতির জন্য বেশীর ভাগ দায়ী। যে কোন বাঁধ নির্মাণের সময়ে ও পরে উহার উপরে স্থিতীয় ও গতীয় চাপের মাত্রার পরিবর্তন হয়। সুতরাং ঐ বাঁধ সম্ভাব্য অনুভূমিক চাপের সর্বোচ্চ মান ও উর্ধ্বাধ চাপের সর্বনিম্ন মান এই দুই যৌথ প্রভাব জনিত যে প্রতিকূল অবস্থার সম্মুখীন হইতে পারে উহা ধরিয়া লইয়া ঐ বাঁধের design প্রস্তুত করা হয়। অনুভূমিক ও উর্ধ্বাধ এই দুই চাপের অনু-পাতের (Ratio) অঙ্ক যত কম হয়, বাঁধের অটল অবস্থা সেই পরিমাণে বৃদ্ধি পায়। আমরা জানি যে কোন গাঁথনি উহার বনিয়াদের সহিত ঘর্ষণ (Friction) জনিত শক্তির দ্বারা আবদ্ধ থাকে। সুতরাং বাঁধ ও উহার বনিয়াদের মধ্যে যে ঘর্ষণ শক্তি বিদ্যমান হয়, উহা বাঁধের স্থিতিশীলতায় খুবই কার্য্যকরী। ইঞ্জিনীয়ারগণ বাঁধের design প্রস্তুতের সময়ে ইহা

বিশেষভাবে লক্ষ্য রাখেন যাহাতে বাঁধের উপরে অনুভূমিক ও উর্ধ্বাধ এই দুই চাপের অনুপাতের অঙ্ক যেন অতি অবশ্য বাঁধ ও তাহার বনিয়াদের মধ্যে ঘর্ষণশক্তির গুণকের (co-efficient) অপেক্ষা কম হয়। দেখা গেছে যে গাঁথনি করা বনিয়াদ অথবা শিলাসংস্তরের (Rock bed) বনিয়াদের উপর নির্মিত masonry dam-এর ক্ষেত্রে এই ঘর্ষণশক্তি জনিত গুণকের অঙ্ক 0·6 হইতে 0·7-এর মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকে। তবে শিলাসংস্তর যদি সন্ধিযুক্ত হয় সেস্থলে এই অঙ্ক কমিয়া যায় এবং এই বাঁধের স্থিতিশীলতা হ্রাস পায়। ইহাও দেখা গেছে স্থানচ্যুতি হেতু বাঁধের স্খলন সাধারণতঃ masonry dam (gravity type)-এর ক্ষেত্রেই ঘটে। Masonry dam এর বনিয়াদে যদি শেল বা আগ্নেয়গিরিজাত দৃঢ় সংবদ্ধ ভস্ম (Tuff) জাতীয় প্রস্তর থাকে, সেক্ষেত্রে সংযোগস্থলে পিচ্ছিল অবস্থার সৃষ্টি হয় এবং স্খলনের প্রবণতা বিশেষভাবে দেখা দেয়। এইরূপ স্খলনের প্রতিরোধকল্পে বাঁধ ও তাহার প্রস্তরময় বনিয়াদের মধ্যে বন্ধন দৃঢ় করার সর্বপ্রকার ব্যবস্থা করা হয়। এই প্রতিরোধ ব্যবস্থা হিসাবে বনিয়াদের শিলাসংস্তরের উপরিভাগ আবড়া-খাবড়া করিয়া দেওয়া এবং বাঁধের নিম্ন-দিকের গাঁথনির কিয়দংশ শিলাসংস্তরের সহিত বন্ধন যুক্ত করা বিশেষ বাঞ্ছনীয়। এই বন্ধনের জন্য দেওয়ালের আকারে কংক্রীটের নির্মিত গাঁথনিকে সংযোগ দেওয়াল (Key wall) আখ্যা দেওয়া হয়। ইহাকে বিচ্ছিন্নকারী দেওয়ালও (Cut-off wall) বলা হয়। এইরূপ গাঁথনি সাধারণতঃ বাঁধের heel-এ গঠিত হয় এবং কংক্রীট নির্মিত cut-off wall শিলাসংস্তরের গভীরতর তলদেশ হইতে গাঁথনি করা হয়। এই key wall বা cut-off wall বাঁধের জলাধার হইতে বাঁধের তলদেশ দিয়া জলক্ষরণও বন্ধ করে। বাঁধের তলদেশের গাঁথনি যদি upstream অর্থাৎ জলাধারের দিকে নমিত (Sloping) ভাবে করা হয়, ইহাতে স্খলনের সম্ভাবনা অনেকাংশে হ্রাস পায়। অবশ্য কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ যদি বাঁধের বনিয়াদের শিলাসংস্তরের অনুসন্ধান করিয়া দেখেন যে শিলাসংস্তরের উপরি-ভাগে (অর্থাৎ বাঁধ ও তাহার বনিয়াদের সংযোগস্থলে) অথবা উহার বিভিন্ন স্তরের মধ্যে কোনস্থানে স্খলনের সম্ভাবনা বিদ্যমান, তখন সেই অনুযায়ী স্খলনের প্রতিরোধ ব্যবস্থা গ্রহণ করা হয়।

দেখা গেছে যে বেশীর ভাগ masonry dam-এর স্খলনহেতু ধ্বংস অবিরাম প্রবল বর্ষণের পরই হইয়াছে। বাঁধের বনিয়াদে যদি স্তরান্বিত (Stratified) শিলা যথা—শেল, Claystone, Clayey বালুশিলা ইত্যাদি

থাকে, সেক্ষেত্রে ঐ প্রবল বারিপাত এই জাতীয় শিলাস্তরগুলির স্খলনে বিশেষ সহায়ক হয়। শুষ্ক অবস্থায় বিভিন্ন শিলাস্তর ঘর্ষণশক্তির দ্বারা আবদ্ধ থাকে, কিন্তু এই স্তরগুলির মধ্যে বারিপাতজনিত জল প্রবেশ করিলে উহা অভ্যঞ্জনের (Lubrication) কাজ করে। ফলে ঘর্ষণশক্তির গুণক হ্রাস পায় এবং স্তরগুলির হড়কাইয়া যাওয়ার প্রবণতা ঘটে। তাহা ছাড়াও বিভিন্ন স্তরগুলির মধ্যে যে বন্ধনী উপাদান (Cementing material) থাকে উহা জল ঢুকিবার ফলে ক্ষয়প্রাপ্ত হয়। সর্বোপরি এই স্তরায়িত শিলাসমূহের বিভিন্ন স্তরের মধ্যে রন্ধ্রসমূহ সংপৃক্ত অবস্থা প্রাপ্ত হয় এবং এইজন্য ঊর্ধ্বমুখী চাপ বাঁধের উপর সক্রিয় হয়। এই চাপের মাত্রা জলাধারের জলের লেভেলের উঠা নামার সঙ্গে বিশেষভাবে জড়িত এবং হঠাৎ অবিরাম প্রবল বর্ষণের ফলে জলাধারে অতিরিক্ত মাত্রায় জল বাড়িলে উহার চাপ বাঁধের বনিয়াদের শিলাস্তরের মধ্যে প্রসারিত হইয়া ঊর্ধ্বমুখে বাঁধের তলদেশে ঠেলা দেয়। এই চাপের মাত্রা শিলাস্তর সমূহের যন্ত্রীশক্তি (Shearing strength) অপেক্ষা বেশী হইলে বাঁধের উত্তোলনহেতু স্খলনের আশঙ্কা বৃদ্ধি পায় এবং অনেকক্ষেত্রে পরিশেষে বাঁধটি ধ্বংসপ্রাপ্ত হয়। এই কারণে কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের পরামর্শানুযায়ী বনিয়াদের শিলাস্তরগুলির মধ্যে যেগুলি ত্রুটীপূর্ণ অথবা জলসিক্ত হইলে বিপদ সৃষ্টি করিতে পারে সেগুলির সম্ভব হইলে সম্পূর্ণ অপসারণ বিধেয় অথবা কংক্রীট দ্বারা দৃঢ় ও শক্তিশালী করা কর্তব্য। উপরন্তু key wall গাঁথিয়া যাহাতে জলাধারের দিক হইতে জলের প্রবেশ কোনরূপে সম্ভব না হয় তাহার ব্যবস্থা করা উচিৎ।

বাঁধের বনিয়াদের রন্ধ্রসমূহে অবস্থিত জলের ঊর্ধ্বমুখী চাপ যেমন বাঁধকে উত্তোলন করিতে চেষ্টা করে, সেইরূপ বাঁধের গঠনের ওজন জনিত ঊর্ধ্বাধ চাপের প্রভাবে বাঁধ বসিয়া যায়। ইহার উপর জলাধার পূর্ণ হইলে ঐ জলের এবং তৎসহ সঞ্চিৎ পলিমাটির ভারজনিত চাপ ঊর্ধ্বাধদিকে অতিরিক্ত চাপ সৃষ্টি করে এবং বাঁধের বসিয়া যাওয়ার ব্যাপারে সাহায্য করে। তবে এই বসিয়া যাওয়ার ব্যাপার অতিশয় ধীরগতিতে সম্পন্ন হয় এবং বাঁধ নির্মাণের কয়েক বৎসর পরে ইহার আর উপলব্ধি হয় না। অতি বৃহৎ জলাধারের ক্ষেত্রেও সংরক্ষিত জলের ও সঞ্চিত পলিমাটির ভারে ঐ জলাধারের পার্শ্ববর্তী সমগ্র এলাকা বসিয়া যায়। উদাহরণস্বরূপ আমেরিকার Nevada সহরের Hoover Dam-এর জলাধারের সংলগ্ন এলাকার উল্লেখ করা যাইতে পারে। বাঁধের বনিয়াদে কঠিন আগ্নেয়শিলা

যথা—গ্র্যানিট, ব্যাসল্ট ইত্যাদি থাকিলে বাঁধের বসিয়া যাওয়ার সম্ভাবনা খুবই কম থাকে। তবে শেল, claystone, siltstone ইত্যাদি নরম প্রস্তর-ময় বনিয়াদ হইলে বাঁধের বসিয়া যাওয়ার আশঙ্কা প্রবল হয়, বিশেষতঃ যদি স্তরায়িত শিলাসংস্তরের মধ্য হইতে দ্রবীভূত অংশ বাহির হইয়া গিয়া গহ্বরের সৃষ্টি করে।

বাঁধ যেমন তাহার ভারের চাপে বসিয়া যায়, সেইরূপ উহার বনিয়াদ হইতে নরম, ভগ্নপ্রবণ ও অন্যান্য ত্রুটীপূর্ণ প্রস্তরসমূহের অপসারণজনিত ঐ স্থানে প্রতিক্ষেপ (Rebound) ক্রিয়াবশতঃ বাঁধের উত্তোলন পরিলক্ষিত হয়। তবে এই উত্তোলন খুবই মৃদুগতিতে কার্য্যকরী হয় এবং বনিয়াদের প্রস্তর সমূহের modulus of elasticity-র (স্থিতিস্থাপকতা) মানের উপর ইহার কম বেশী হয়। এই স্থিতিস্থাপকতার মান অধিক হইলে প্রতিক্ষেপের মান কম হয়। কিন্তু বাঁধের বনিয়াদের এক অংশে কঠিন শিলা ও অপর অংশে ভগ্নপ্রবণ নরম প্রস্তর থাকিলে বাঁধের বসিয়া যাওয়া ও উত্তোলিত হওয়ার ব্যাপারে পার্থক্যসূচক অবস্থা দেখা দেয় এবং ইহা বাঁধের নিরাপত্তার বিশেষ বিঘ্ন ঘটায়। এরূপ ক্ষেত্রে বাঁধের design-এ সমুচিত ব্যবস্থা অবলম্বন করা হয়।

বাঁধের জলাধার হইতে উদ্ভূত সমস্যা

বাধের স্খলন সমস্যা সম্বন্ধে আলোচনার পর এখন বাঁধজনিত জলাধার যে সকল সমস্যার সৃষ্টি করে সেই বিষয়ে কিছু বলা হইতেছে। বাঁধ দ্বারা নদী নালার প্রবাহিত জলকে আটক করিলে স্বাভাবিক জলপ্রবাহ বন্ধ হইয়া জলাধারের সৃষ্টি হয় বটে, কিন্তু এই জলাধার হইতে সম্পূর্ণরূপে জল নির্গমন বন্ধ করা যায় না। বাঁধের আশ-পাশ হইতে এবং জলধারের বেড় (Rim) হইতে জল চুয়াইতে থাকে তবে ইহার পরিমাণ সাধারণ ক্ষরণ অপেক্ষা খুবই কম। পূর্বে বলা হইয়াছে যে বাঁধের ভিত্তিস্থানের সম্যক অনুসন্ধানের সহিত বাঁধজনিত যে জলাধার সৃষ্ট হইবে তাহারও তলদেশের ভূতাত্ত্বিক অবস্থা যথা—শিলাসংস্তরে সন্ধি, ভাঁজ, চ্যুতি ইত্যাদির উপস্থিতির অনুসন্ধান একান্ত আবশ্যক। কারণ এই সকল প্রাকৃতিক ত্রুটী সমন্বয়ের জন্য জলাধার হইতে অধিকমাত্রায় জলক্ষরণ হয়। বিশেষতঃ জলাধারের তলায় যদি চুণাপাথরের স্তর থাকে, ঐ পাথর দ্রবীভূত হইয়া বিরাট আকারের গহ্বরের (Solution channel) সৃষ্টি করিয়া রাখে এবং এইগুলির মধ্য দিয়া অত্যাধিক জলক্ষরণ হয় ও অচিরেই

জলাধার শূন্য হইয়া পড়ে। এই সকল জলক্ষরণের পথ ছাড়াও অনেক সময়ে জলাধারের বেড়ের তলায় অগভীর প্রচ্ছন্ন জলপ্রণালী (Buried channel) থাকে এবং এইগুলি বহু পুরাতন ও অধুনালুপ্ত নদীসমূহের দ্বারা গভীর ক্ষয়প্রাপ্ত পাদশীলার (Bed rock) উপরিস্থ প্রবাহ পথ। এই প্রবাহ পথগুলির পশ্চাৎ পূরণ হওয়ায় বর্তমানে তাহাদের অস্তিত্ব জমির উপরিভাগ হইতে জানা যায় না। এই buried channel-গুলি কোন কোন ক্ষেত্রে নিশ্ছিদ্র (Impervious) বস্তুসমূহের দ্বারা পশ্চাৎ-পূরণ হওয়ায় এই পথ দিয়া জলক্ষরণের সম্ভাবনা অপেক্ষকৃত কম হয়, তবে এই নিশ্ছিদ্র বস্তুসমূহ দ্রবণীয় হইলে কালক্রমে জলক্ষরণের মাত্রা বৃদ্ধি পায়। যদি ঐ প্রচ্ছন্ন জল-প্রণালীগুলি সচ্ছিদ্র বস্তুদ্বারা আচ্ছাদিত থাকে, তাহা হইলে জলাধারের তলায় ঐগুলি খুবই সক্রিয় হইয়া উঠে ও অধিকমাত্রায় জলক্ষরণে সহায়তা করে। সুতরাং এইসকল জলক্ষরণের পথগুলির অস্তিত্ব সম্বন্ধে বাঁধের নির্মাণকার্য্যের প্রারম্ভেই নিশ্চিত হওয়া উচিৎ এবং উহাদের প্রতিকার করা কর্তব্য। যে নদীর জল বাঁধিয়া জলাধারের সৃষ্টি করা হয়, সেই নদীর প্রবাহ পথে ঐ জলাধারের কল্পিত স্থানে যদি কোন সন্ধি, ফাটল অথবা অন্য কোন প্রকৃতিগত ত্রুটী থাকে তাহা হইলে নদীর জলের কিছু অংশ ভূগর্ভে প্রবেশ করিয়া স্থানীয় জলপীঠে মিলিত হয় এবং নিম্নদিকে প্রবাহিত হইতে থাকে। এইরূপ প্রাকৃতিক অবস্থা বিদ্যমান থাকিলে ঐ জলাধার হইতে অতীব ভীষণ মাত্রায় ক্ষরণের সম্ভাবনা থাকে। এই কারণে কল্পিত জলাধারের কাছাকাছি নিম্নদিকে (Downstream side) কোন সাধারণ প্রস্রবণ বা আর্টেজীয় জলনিষ্কাশন আছে কি না তাহার অনুসন্ধান করা উচিত যেহেতু ইহাদের উপস্থিতি উপরোক্ত ত্রুটীসমূহের অস্তিত্বের ইঙ্গিত দেয়। অনেকক্ষেত্রে দেখা যায় কল্পিত বাঁধের দ্বারা যে বিরাট এলাকা জলমগ্ন হইবে সেই এলাকার মধ্যে একাধিক প্রাকৃতিক বৃহদাকারের জলাশয় আছে এবং এইগুলি সর্বদাই জলপূর্ণ থাকে। ইহা হইতে ধারণা করা সম্ভব যে কল্পিত জলাধারের তলদেশ হইতে ক্ষরণের আশঙ্কা নাই। কিন্তু এইরূপ ধারণা অনেকসময়ে খুবই ভ্রান্ত হইতে পারে, কারণ ঐ প্রাকৃতিক জলাশয়গুলি পরিপূর্ণ অবস্থায় থাকিলেও উহাদের সঞ্চিত জলসম্ভারের পরিমাণ বাঁধের কল্পিত জলাধারের পরিমাণ অপেক্ষা অনেকগুণ কম। সুতরাং ঐ জলের ভারজনিত চাপ সংশ্লিষ্ট জলাশয়গুলির তলদেশে যথেষ্ট পরিমাণের হয় না। তাহা ছাড়া বহুকাল হইতে পলিমাটি জমিয়া ফাটল ইত্যাদি ঢাকিয়া রাখে এবং এই পলিমাটি নিশ্ছিদ্রজাতীয় হইলে উহার প্রভাবে

অনুকরণ বন্ধ হইয়া থাকে। কিন্তু বাঁধজনিত বিরাট জলাধারের ক্ষেত্রে যে অবস্থার সৃষ্টি হয় তাহা জলাশয়গুলির সহিত কোনরূপেই তুলনামূলক নহে।

MASONRY DAM-এর ABUTMENT-এর নিরাপত্তার সমস্যা

এখন masonry dam-এর abutment-এর সহিত জড়িত যে সকল সমস্যার উদ্ভব হয় সেই বিষয়ে কিছু আলোচনা করা হইতেছে। পূর্বে বলা হইয়াছে যে masonry dam-এর দুই প্রান্তিক অংশের ঠেস যে গাঁথনির দ্বারা নদীর উপত্যকার দুই পাশের ঢালু গায়ের উপরে ন্যস্ত হয় তাহাকে ভূতাত্ত্বিকের ভাষায় যোগবাহু (Abutment) বলে। Abutments বাঁধের অবিচ্ছিন্ন অতি প্রয়োজনীয় অংশ এবং বাঁধের নিরাপত্তা ও দীর্ঘজীবন ইহার সঠিক এবং উপযুক্ত গঠনের উপর বহুলাংশে নির্ভরশীল। যে বনিয়াদের উপর abutments-এর গাঁথনি করা হয় উহার বিশরণ ও ক্ষয়সাধনকারী শক্তিসমূহের প্রতিরোধ ক্ষমতা থাকা বিশেষ আবশ্যক। বনিয়াদে claystone বা conglomerate থাকিলে তাহাদের জলসংমিশ্রণ হেতু বিশরণ প্রবণতা বিশেষভাবে পরীক্ষা করা কর্তব্য। কারণ এই জাতীয় শিলাসমূহ খননকার্য্য দ্বারা অনাচ্ছাদিত অবস্থায় শুষ্ক ঋতুতে বেশ কিছুদিন থাকার পর জলমগ্ন হইলে উহাদের বিশরণের প্রবণতা অতিশয় বৃদ্ধি পায়। তাহা ছাড়া উপত্যকার ঢালুগাত্রে যে সকল প্রস্তরের যন্ত্রীশক্তি (Shearing strength) কম (যথা শেল জাতীয় প্রস্তর ইত্যাদি), উহাদের উপস্থিতি abutments-এর স্থায়িত্বের বিঘ্ন ঘটায়। বিশেষতঃ যদি ঐ শিলাসংস্তরের নতি বা উহাদের সন্ধির নতি বাঁধের দিকে থাকে, সেক্ষেত্রে এইরূপ abutment গাঁথনির জন্য খননের সময়ে প্রস্তর সমূহের ক্রমাগত স্খলনহেতু গাঁথনির কাজে যথেষ্ট বিঘ্ন সৃষ্টি করে। সুতরাং এইরূপ শিলাসংস্তর যতদূর সম্ভব খননের দ্বারা সরাইয়া ফেলিতে হয়, এবং প্রয়োজনবোধে কংক্রীটের দ্বারা নিম্নস্থ স্থিতিশীল প্রস্তরসমূহের সহিত ইহাদের বন্ধনযুক্ত করা হয়। Arch Dam-এর নিরাপত্তার ক্ষেত্রে abutments-এর ভূমিকা বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। এই প্রকার বাঁধের design এমনভাবে করা হয় যে ইহার উপরে চাপ abutments-গুলির উপর অধিকমাত্রায় সঞ্চারিত হইয়া থাকে। সেই কারণে যে শিলাসমূহের উপর abutments গাঁথা হয় উহাদের arch জনিত গুরুচাপ বহনের শক্তি থাকা প্রয়োজন। এইসকল শিলাসংস্তর দৃঢ় এবং সন্ধি ও চ্যুতিশূন্য হওয়া একান্ত

বাঞ্ছনীয়। ইহাদের যন্ত্রীচাপ প্রতিরোধ করিবার ক্ষমতাও বেশী হওয়া উচিৎ, কারণ শিলাসমূহ সন্ধি বা বিদার (Fissure) যুক্ত হইলেও বাঁধের চাপ বহন করিতে সক্ষম হইতে পারে কিন্তু যন্ত্রীচাপ প্রতিরোধ করিতে সকল সময়ে সমর্থ হয় না। তবে ইহাও দেখিতে হইবে যে abutments-এর উপর উৎক্রম (Thrust) যেদিকে কার্য্যকরী হয়, সেইদিকের সহিত ঐ abutments-এর শিলাসমূহের সন্ধি ও বিদারের দিক মোটামুটি সমান্তরাল (Parallel) কি না কারণ এইরূপ প্রাকৃতিক অবস্থার উদ্ভব হইলে বিপদের খুব সম্ভাবনা থাকে। কিন্তু যদি এই বিদারগুলি abutments-এর অন্তর্মুখী হয়, সেক্ষেত্রে এই উৎক্রমের জন্য কোনরূপ সঞ্চালন হয় না।

MASONRY DAM-এর স্থান নির্ণয়

Masonry Dam-এর নির্মাণকল্পে উপযুক্ত স্থান নির্ণয় একটি কঠিন সমস্যা। যে কোন বাঁধ নির্মাণের পরিকল্পনার প্রাথমিক পর্য্যায়ে ইঞ্জিনীয়ারগণ বাঁধের সংশ্লিষ্ট নদীর সঙ্কীর্ণতম নির্গম পথ ও অন্যান্য স্থলাকৃতি এবং জলবিজ্ঞান সম্পর্কীয় বিশেষত্বগুলি যথা—নদীর অববাহিকায় বারিপাতের মাত্রা, বৎসরের বিভিন্ন সময়ে উহার জল নিঃস্রাবের পরিমাণ ইত্যাদির সমীক্ষা করিয়া তাঁহাদের বিবেচনায় উপযুক্ত স্থানগুলি চিহ্নিত করিলে ঐ সম্বন্ধে ভূতাত্বিক সমীক্ষার দায়িত্ব কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের উপর ন্যস্ত হয়। প্রাথমিক পরীক্ষা চালাইবার আগে এই বিশেষজ্ঞের ঐ চিহ্নিত স্থানগুলি ও পার্শ্ববর্তী অঞ্চলসমূহ সম্বন্ধে পূর্ব প্রকাশিত ভূতাত্বিক তথ্যগুলির অধ্যয়ন সর্বপ্রথমে কর্তব্য। ইহা ছাড়াও ঐ সকল স্থানের প্রকাশিত স্থলাকৃতি ও ভূতাত্বিক মানচিত্রগুলির বিশ্লেষণ করা উচিৎ, যদিও এই মানচিত্রগুলির ক্রম (Scale) সাধারণতঃ বেশ কম থাকে। ইহার পর ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞকে ঐ স্থানগুলির প্রাথমিক পরীক্ষা সরেজমিনে করিতে হয়। এই পরীক্ষায় ঐ স্থানগুলিতে কিরূপ শিলাসংস্তর বিদ্যমান, তাহাদের গাঠনিক বিশেষত্ব ও অবঘাতের (overburden) পরিমাণ, গাঁথনির উপযুক্ত প্রস্তর ও অন্যান্য বস্তুসমূহের সহজ প্রাপ্যতা এবং ভূকম্পনের প্রভাব ইত্যাদি বিষয়ে মোটামুটি একটা ধারণা করা হয়। ইঞ্জিনীয়ারগণ কর্তৃক চিহ্নিত স্থানগুলি ছাড়াও নিকটস্থ অন্যান্য গুণসম্পন্ন স্থানগুলিরও প্রাথমিক পরীক্ষা ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের করা কর্তব্য। প্রাথমিক পরীক্ষান্তে আহরিত তথ্য সমূহের বিশ্লেষণ করিয়া যদি দেখা যায় যে কোন

একটি স্থান ঐ এলাকার কল্পিত বাঁধ নির্মাণের জন্য উপযুক্ত, তখন ঐ স্থানের বিস্তারিত ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান আরম্ভ করা হয়। সমীক্ষা চলাকালীন ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ ও Design ইঞ্জিনীয়ারের মধ্যে সতত যোগাযোগ রক্ষা অতিশয় বাঞ্ছনীয়।

বিস্তারিত ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানের মধ্যে সর্বপ্রথমে বাঁধের নির্ধারিত স্থানের ও পার্শ্ববর্তী অঞ্চলগুলির বড় ক্রমের ভূতাত্ত্বিক মানচিত্র প্রস্তুত করা হয়। স্থানবিশেষে 1 : 600 অথবা 1 : 1200 ক্রমের মানচিত্র প্রস্তুত করা হয় এবং ঐগুলির সমোন্নতি (Contour) রেখান্তর (Interval) পঞ্চাশ সেণ্টিমিটার হিসাবের হয়। এই মানচিত্রে ঐ বাঁধের পরিকল্পনার আবশ্যকীয় সকল প্রকার ভূতাত্ত্বিক বিশেষত্বগুলি, এমন কি গাঁথনির প্রস্তরের ও অন্যান্য বস্তুর উৎসগুলিও দেখান হয়। ভূতাত্ত্বিক মানচিত্র প্রস্তুতের সময়েই ঐ সকল প্রস্তরের, বিশেষতঃ বাঁধের ভিত্তিস্থানে অবস্থিত শিলা-সমূহের, নমুনা সংগ্রহ করা হয় এবং লেবরেটরীতে সেগুলির গুণাগুণ সম্বন্ধে অভিজ্ঞ ব্যক্তির দ্বারা পরীক্ষা করান হয়। এই পরীক্ষার মধ্যে ভিত্তিস্থানের প্রস্তর সমূহের বাঁধের ভারজনিত গুরুচাপ বহনের ক্ষমতা নির্ণয় বিশেষ স্থান পায়। প্রস্তরসমূহের এই ক্ষমতা নির্ণয় তাহাদের শুষ্ক এবং জলসিক্ত উভয় অবস্থাতেই করা হয় ও ক্ষমতার তারতম্য লক্ষ্য করা হয়।

বিশদরূপে ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানে নিম্নলিখিত বিষয়গুলি বিশেষ স্থান পায়, যথা—

(a) প্রস্তাবিত স্থানের শিলাসংস্তর নির্দোষ কি না ও বাঁধজনিত স্থিতীয় এবং গতীয় চাপ, বিশেষতঃ ভূমিকম্পের অভিঘাত, সহনে সক্ষম কি না ;

(b) বাঁধের বনিয়াদের শিলাসংস্তর একই শ্রেণীর কি না কারণ তাহা হইলে উহাদের modulus of elasticity-র তারতম্য হয় না ;

(c) বাঁধের প্রস্তাবিত স্থানের শিলাসমূহ দ্রবণ (Solution), বিয়োজন (Decomposition), ক্ষয়সাধন (Erosion) ও অন্যান্য হানিকর ক্রিয়ার প্রতিরোধ ক্ষমতাসম্পন্ন কি না ;

(d) বাঁধের (বিশেষতঃ Gravity Dam) বনিয়াদ স্খলনের আশঙ্কা হইতে সম্পূর্ণ নিরাপদ কি না ;

(e) যে উপত্যকায় বাঁধ নির্মাণের প্রস্তাব করা হইয়াছে সেই উপত্যকার দুই পাশের দেওয়াল এবং বাঁধের abutments ঐ বাঁধের জলাধারের পূর্ণাবস্থায় স্থিতিশীল থাকিবে কি না ;

(f) বাঁধজনিত জলাধারের গভীর মধ্যে কত গ্রাম, খনিজ ও অন্যান্য প্রাকৃতিক সম্পদ এবং প্রত্নতত্ত্ব সম্বন্ধীয় নিদর্শনগুলি চিরতরে অবলুপ্ত হইবার সম্ভাবনা থাকে তাহারও ক্ষয়ক্ষতির হিসাব করা হয় ; এই বিষয়ে সমীক্ষা বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ, কারণ বাঁধ নির্মাণের মুখ্য উদ্দেশ্য মানবজাতির কল্যাণ সাধন করা ও সম্পদ বৃদ্ধি করা কিন্তু বাঁধ নির্মাণের জন্য যদি ক্ষতির পরিমাণ খুবই গুরুত্বপূর্ণ হয়, সেক্ষেত্রে ঐ বাঁধ নির্মাণের স্থানের রদবদল করা বিশেষ প্রয়োজনীয় হয় ;

(g) বাঁধের অববাহিকায় অবস্থিত শিলাসমূহ এবং তাহাদের অবঘাত জলপ্রবাহজনিত ক্ষয়সাধনের প্রতিরোধ করিতে যথেষ্ট পরিমাণে সক্ষম কি না তাহাও বিশেষভাবে জ্ঞাতব্য, অন্যথায় জলাধারের গর্ভে অধিক-মাত্রায় পলিমাটি জমিয়া বাঁধের কার্য্যকরী থাকার সময়ের মেয়াদ হ্রাস পায় ;

(h) যে স্থানে Arch Dam নির্মাণের পরিকল্পনা থাকে, সেই স্থানের স্থলাকৃতি এবং abutments-এর শিলাসমূহের গাঠনিক বিশেষত্ব ঐ arch-এর স্থিতিশীলতা ও চাপসহনের উপযুক্ত অবস্থার অনুকূলে হওয়া বিশেষ বাঞ্ছনীয় ;

(i) বাঁধের কল্পিত স্থানের স্থলাকৃতি ও ভূতাত্ত্বিক গুণাবলী এরূপ হওয়া চাই যে ঐ স্থানে জল নিষ্কাশন পথ (Spillway) গঠন করা, প্রয়োজনবোধে সুড়ঙ্গ নির্মাণ করিয়া জলপ্রবাহের গতি পরিবর্তন করা এবং জলবিদ্যুৎ শক্তি উৎপাদন কেন্দ্র স্থাপন করা সম্ভব হয় ; বাঁধের down-stream দিকে spillway হইতে অথবা জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের পর নিষ্ক্রমণজনিত যে জলরাশি (Tailrace water) নিম্নস্থ শিলাসমূহের উপর ঠিকরাইয়া পড়িবে, সেই প্রতিঘাতজনিত ক্ষয়সাধনের প্রতিরোধ ক্ষমতা ঐ শিলাসমূহের থাকা একান্ত বাঞ্ছনীয় ;

(j) বাঁধ নির্মাণের জন্য গঠনের উপযুক্ত কংক্রীটের প্রস্তর ও অন্যান্য শিলাখণ্ডসমূহের সংগ্রহ স্থল ঐ পরিকল্পিত স্থানের নিকটস্থ হওয়া আবশ্যক যাহাতে ঐ সংগ্রহ বাবদ খরচ যুক্তিসঙ্গত ও কম হয়, ইহা একটি অতি প্রয়োজনীয় সমীক্ষার বিষয় ;

(k) পরিকল্পিত স্থানে বাঁধ নির্মাণ হইলে নিকটস্থ অধুনা বিদ্যমান রেলপথ, রাজপথ ও কাটাখালের (Canal) পুনর্বিন্যাসের প্রয়োজন হইবে এবং ঐ কল্পিত স্থানের সহিত যোগসূত্র স্থাপনের উদ্দেশে নূতন রাস্তা নির্মাণ করিতে হইবে, সুতরাং এই সকল বিষয়েও সমীক্ষার বিশেষ প্রয়োজন ;

(I) কল্পিত স্থানে বাঁধ নির্মাণকার্য্যে কি পরিমাণ মৃত্তিকা ও প্রস্তর খনন এবং তাহাদের বিশরিত অংশের প্রয়োজনমত অপসারণ করিতে হইবে উহার হিসাব নির্ণয় খুবই আবশ্যক।

উপরোক্ত ভূতাত্বিক অনুসন্ধান প্রস্তাবিত কয়েকটি স্থানে করিবার পর বাঁধ নির্মাণের ব্যয় ও দ্রব্যসমূহের সংগ্রহ সুবিধা স্থানবিশেষে কিরূপ হইবে তাহার তুলনামূলক বিচারান্তে স্থান নির্বাচনের চরম সিদ্ধান্ত লওয়া হয়। যে স্থানটি উপযুক্ত বিবেচিত হয়, সেই স্থানে বিস্তারিত ভূতাত্বিক অনুসন্ধানের কার্য্যক্রম রচনা করা হয় এবং ইঞ্জিনীয়ারগণ কল্পিত বাঁধের design প্রস্তুত করেন। এই সময় হইতে ভারপ্রাপ্ত কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ ও ইঞ্জিনীয়ারদের মধ্যে ঘনিষ্ঠ যোগাযোগ রাখিতে হয়। বাঁধের design অনুযায়ী ভূতাত্বিক অনুসন্ধান কার্য্যক্রমের রদবদল হয়, আবার সংগৃহীত ভূতাত্বিক তথ্যের অনুকূলে বাঁধের design-এরও পরিবর্তন করিতে হয়।

পৃথিবীর বুকে যে সকল গুরুভারের গঠন নির্মিত হয়, বাঁধ তাহাদের মধ্যে অন্যতম। ইহা সর্বজনবিদিত যে যে কোন গঠনের ভিত্তি স্থানের দৃঢ়তা ঐ গঠনের দৃঢ়তা অপেক্ষা অবশ্যই বেশী হওয়া প্রয়োজন কারণ ঐ গঠনের সম্পূর্ণ ভার ঐ ভিত্তিস্থানকে বহন করিতে হয়। সুতরাং কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ সর্বপ্রথমেই প্রস্তাবিত বাঁধের ভিত্তি পত্তনের স্থানের বিস্তারিত অনুসন্ধান আরম্ভ করেন। ইহা খুবই গুরুত্বপূর্ণ।

বাঁধের ভিত্তিস্থানের ভূতাত্বিক অনুসন্ধান—এই সমীক্ষায় ঐ স্থানের শিলাসংস্তরের ও মৃত্তিকার অবস্থা সম্বন্ধে সম্যক জ্ঞান আহরণ বিশেষ প্রয়োজনীয়। শিলাসংস্তর বহুক্ষেত্রে মৃত্তিকাচ্ছাদিত থাকে এবং ইহার গভীরতার মাপ নির্ণয় করিতে হয়। বৃহদাকারের বাঁধ নির্মাণের জন্য ভিত্তিস্থাপনের বেধ (Depth) বেশী হয়, সুতরাং শিলাসংস্তরের কেবল উপরিভাগের দৃঢ় অবস্থা দেখিলেই উহার স্থায়িত্ব সম্বন্ধে সম্পূর্ণ নিশ্চিত হওয়া উচিৎ নয়। অভিজ্ঞ ভূতত্ত্ববিদেরা অবশ্য ভূপৃষ্ঠের উপরিভাগের শিলাসংস্তর দেখিয়া ভূনিম্নে তাহাদের প্রকৃতি এবং গাঠনিক বিশেষত্ব সম্বন্ধে অনেকটা সঠিক ধারণা করিতে সমর্থ হন, তথাপি এই গুরুত্বপূর্ণ কার্য্যে ভিত্তিস্থানের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ ও বেধ এই তিনদিকের শিলাসংস্তরের অবস্থা বিশেষভাবে পরীক্ষা করা প্রয়োজন। বস্তুতঃ এই পরীক্ষার কার্য্য ভিত্তি পত্তনের স্থানের upstream ও downstream উভয়দিকেই কিছুদূর পর্য্যন্ত করা হয়। তবে ভূনিম্নে এই অনুসন্ধানের কাজ ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ

তাঁহার অভিজ্ঞতার উপর নির্ভর করিয়া অনেকাংশে সীমিত রাখেন এবং কেবলমাত্র ভূপৃষ্ঠে পরীক্ষা চালাইবার পর যে সকল বিষয়ের অনুমান করেন সেগুলির সত্যতার প্রমাণের জন্য ঐ স্থানে ভূনিম্নে অনুসন্ধান করা হয়। আবার এই অনুসন্ধানের মাত্রা কি ধরণের বাঁধ যথা—masonry dam বা earth dam নির্মাণ হইবে তাহার উপর বহুলাংশে নির্ভর করে। নদীবক্ষে যেখানে বাঁধ নির্মাণের প্রস্তাব করা হয় সেই স্থান যদি উন্মুক্ত হয় ও সেখানে শিলাসংস্তরের উদ্‌ভেদ (outcrop) দেখা যায়, সে স্থলে ভূনিম্নে অনুসন্ধানের কার্য্য অনেক কমিয়া যায়। কিন্তু অল্প পরিসর উপত্যকার মধ্য দিয়া প্রবাহিত নদীবক্ষ সাধারণতঃ বালুকাময় হয় এবং নিম্নস্থ শিলাসংস্তরের উপরিভাগের বিশরিত অবস্থা গভীরতর তলদেশ অবধি বিরাজ করে। এইরূপ স্থানে বাঁধ নির্মাণ করিতে হইলে ভিত্তি পত্তনের উপযুক্ত শিলাস্তরের অনুসন্ধান কার্য্য ব্যাপক পর্য্যায়ের হয়। অনুচ্চ বাঁধের (সাধারণতঃ earth dam) নির্মাণকল্পে অনুসন্ধান কার্য্য খুব ব্যাপকরূপের হয় না, কিন্তু উঁচু mosonry dam-এর ক্ষেত্রে ইহা খুবই বিস্তারিত ধরণের হয়। ইহার উপর যদি ভূনিম্নে অনুমিত শিলাসংস্তরের গাঠনিক অবস্থা জটিল অর্থাৎ চ্যুতিযুক্ত হয়, সেস্থলে সম্পূর্ণ সন্তোষজনক অবস্থার নির্ণয়ে পর্য্যাপ্ত পরিমাণে পাতালিক (Subsurface) অনুসন্ধান কার্য্য চালাইতে হয়।

ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ পাতালিক অনুসন্ধানের দ্বারা নিম্নলিখিত বিষয়গুলির সঠিক নির্ধারণ করিতে সক্ষম হন :—

(i) অবঘাতের প্রকৃতি ; (ii) অবঘাতের বেধ এবং উহার অব্যবহিত নিম্নে শিলাপৃষ্ঠের (Rock surface) অবস্থা ; (iii) বিশরিত শিলাসংস্তরের বেধ ; (iv) ভিত্তিস্থানীয় শিলা চূর্ণীভূত, চ্যুতিযুক্ত, যন্ত্রীভূত ও সন্ধিযুক্ত কি না ; এবং (v) ভিত্তিস্থানের তলদেশে শিলাসমূহ দ্রবীভূত হইয়া যাওয়ায় প্রচ্ছন্ন জলপ্রণালী (Buried solution channel) বিদ্যমান কি না। এই সকল অনুসন্ধানের ফলাফলের ভূতাত্ত্বিক বিশ্লেষণ করিয়া ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ সংশ্লিষ্ট ইঞ্জিনীয়ারদের সম্মুখে ঐ স্থানের পাতালিক অবস্থার চিত্র তুলিয়া ধরিতে সমর্থ হন এবং যদি শেষ পর্য্যন্ত ঐ স্থানে বাঁধ নির্মাণের সিদ্ধান্ত গ্রহণ করা হয়, তাহা হইলে কি ধরণের বাঁধ নির্মাণ যুক্তিসঙ্গত হইবে ও বাঁধের স্থিতিশীলতার জন্য উহার গঠনে কি কি নিরাপত্তার ব্যবস্থা গ্রহণ করিতে হইবে এবং সেই অনুসারে design-এর রদ বদলের কতটা প্রয়োজন তাহা ইঞ্জিনীয়ারগণ স্থির করেন। স্থান-

বিশেষে ভিত্তিস্থানের অবস্থার উপর এবং গঠনের জন্য প্রয়োজনীয় বস্তু-সমূহের সুবিধাজনক প্রাপ্তির উপর কি ধরণের বাঁধ উপযুক্ত হইবে তাহা সম্পূর্ণ নির্ভর করে। যেমন কোন নদীবক্ষ যদি বালু ও উৎপলের মোটা আচ্ছাদন দ্বারা আবৃত থাকে, সেরূপ স্থলে উপযুক্ত গুণসম্পন্ন মৃত্তিকা যথেষ্ট পরিমাণে নিকটেই পাওয়া গেলে ঐ স্থানে earth dam নির্মাণ অপেক্ষাকৃত অল্প ব্যয়ে সাধিত হয়। কারণ এইরূপ স্থলে masonry dam-এর নির্মাণের জন্য সমস্ত অবঘাত ও বিশরিত শিলাসমূহ অপসারণ করিতে হইবে এবং এই কার্য্য খুবই ব্যয়সাধ্য। দেখা যায় যে বাঁধ নির্মাণের ব্যয়ের একটা মোটা অংশ এই ভিত্তিস্থানের খনন এবং শিলা ও মৃত্তিকা অপসারণের জন্য ব্যয়িত হয়। অপরপক্ষে যদি নদীবক্ষে কঠিন ও অবিশরিত (Fresh) শিলার উদ্ভেদ যথেষ্ট পরিমাণে থাকে, সেক্ষেত্রে masonry dam-এর নির্মাণ যুক্তিসঙ্গত হয়। তথাপি এরূপ ক্ষেত্রেও earth dam নির্মাণ বেশ ব্যয়সুলভ হয় যদি masonry dam-এর নির্মাণের উপযুক্ত বস্তুসমূহ সহজলভ্য না হয়।

বাঁধ নির্মাণের জন্য পাতালিক (Subsurface) অনুসন্ধান পদ্ধতি—ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ কি উপায়ে পাতালিক অনুসন্ধান করেন সেই বিষয়ে এখন আলোচনা করা হইতেছে। পাতালিক অনুসন্ধানের জন্য গভীর গর্ত (Pit) খনন, নালী (Trench) কাটা, সুড়ঙ্গ (Adit) কাটা, ভূছিদ্রকরণ (Drilling) ইত্যাদি ব্যবস্থা গ্রহণ করিতে হয়। অধুনা এই অনুসন্ধানের কাজে ভূপদার্থিক (Geophysical) পদ্ধতিও যথেষ্ট পরিমাণে ব্যবহৃত হইতেছে। ভূছিদ্রকরণের সহিত ভূপদার্থিক পদ্ধতির সংযুক্তিতে নদীবক্ষের নিম্নের নরম ও ক্ষয়প্রাপ্ত মৃত্তিকা ও শিলাসংস্তরের স্থূলতার পরিমাণ খুব শীঘ্র জানা যায়। কিন্তু উপরোক্ত পদ্ধতিগুলি একই সাথে সকল স্থানে প্রয়োগ করা যায় না। স্থান এবং অবস্থাবিশেষে কোন এক পদ্ধতি বিশেষ সুবিধাজনক হয়। তবে প্রতিটি স্থানেই একাধিক পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়। শিলাসংস্তরের অবস্থা চাক্ষুষ পরীক্ষার দ্বারা অপেক্ষাকৃত ভালভাবে জানা যায়, সেই কারণে গভীর গর্ত খনন করিয়া ও নালী এবং সুড়ঙ্গ কাটিয়া পাতালিক অনুসন্ধানের কার্য্য বেশীর ভাগ ক্ষেত্রে করা হয়। সমতল জায়গায় গভীর গর্ত ও নালীর দ্বারা অনুসন্ধান কার্য্য খুবই সুবিধাজনক। সেইরকম পাহাড়ের ঢালুগায়ে (Slope) সুড়ঙ্গ কাটিয়া ভিতরের শিলার অবস্থা পরীক্ষা করা সুবিধাজনক হয়। কিন্তু নদীবক্ষে পাতালিক অনুসন্ধানে ভূছিদ্রকরণের প্রয়োজনীয়তা সর্বাপেক্ষা অধিক কারণ

এইরূপ ক্ষেত্রে গভীর গর্ত খনন সম্ভব নহে। তাহা ছাড়া গর্ত খনন বা নালীকাটা ভূনিম্নে কিছুদূর অবধি করা সম্ভব কারণ বেশী গভীর হইলে এই পদ্ধতিসমূহ নিরাপত্তার সীমা অতিক্রম করে ও ব্যয়বহুল হইয়া পড়ে। সুতরাং পাতালিক অনুসন্ধান কার্য্যে ভূনিম্নে বেশীদূর অগ্রসর হইতে হইলে ভূছিদ্রকরণ পদ্ধতিই বেশী প্রযোজ্য। তবে এই অনুসন্ধানে core-drilling পদ্ধতির প্রয়োগ দ্বারা যতদূর সম্ভব অক্ষত অবস্থায় ভূনিম্নস্থ শিলাসমূহ সংগ্রহ করিয়া তাহাদের সম্বন্ধে সম্যক জ্ঞানলাভ করা যায়। তদুপরি এই ভূছিদ্রগুলির মধ্য দিয়া অতি চাপে জল ভূগর্ভে প্রবেশ করাইয়া ভিত্তিস্থানের শিলাসংস্তরের প্রবেশ্যতার (Permeability) মান নির্ধারণ করা সম্ভব হয় কারণ এই প্রবেশ্যতার উপর বাঁধের জলাধারের ক্ষরণ বৈচিত্র্য ও বাঁধের ভিত্তিস্থানের স্খলনের সম্ভাবনা অনেকটা নির্ভর করে। ভূছিদ্রকরণের দ্বারা ভিত্তিস্থানে, জলাধারের তলদেশে এবং আশপাশে জলপীঠের (Water table) বোধ জানা যায় এবং এই জলপীঠের অবস্থান বাঁধের স্থান নির্ণয়ে বিশেষভাবে পর্য্যালোচিত হয়। পাতালিক অনুসন্ধানের কাজে ভূছিদ্রকরণের অবদান খুব বেশী। এই অনুসন্ধান পূর্ণোদ্যমে আরম্ভ করিবার আগে প্রাথমিক পরীক্ষালব্ধ ভূতাত্ত্বিক গুণাগুণের বিশ্লেষণ করিয়া কল্পিত বাঁধের axis-এর একটা মোটামুটি স্থান নির্দ্দেশিত হয় এবং কি ধরণের বাঁধ গঠিত হইবে তাহাও স্থির করা হয়। পরে ভূছিদ্রকরণ একটি সুকল্পিত পদ্ধতিতে করা হয় যাহাতে বাঁধের পাকাপাকি স্থান নির্ণয়ে সকল রকম সমস্যার যথাযথ হিসাব সংগ্রহ সম্ভব হয়। প্রথমে বাঁধের দুইপাশের abutment-এ এবং নদীবক্ষে ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের নির্দেশানুযায়ী কয়েকটি ভূছিদ্র করা হয় যাহাতে ঐ সকল স্থানে ভূনিম্নে কতদূর অবধি দৃঢ় এবং অক্ষত শিলাসংস্তর বিদ্যমান তাহার আভাস পাওয়া যায়। পরে এই ভূছিদ্রগুলি হইতে আহরিত জ্ঞানের দ্বারা পরবর্তী ভূছিদ্র-করণের স্থানগুলি চিহ্নিত করা সম্ভব হয়, যাহাতে বাঁধ ও তাহার আনুষঙ্গিক গঠনগুলির স্থিতিশীলতা বিষয়ে সুনিশ্চিত হওয়া যায়। ভূছিদ্রগুলি কত গভীর হইবে তাহা ঐ সকল স্থানের ভূতাত্ত্বিক অবস্থার উপর বিশেষভাবে নির্ভর করে। উপরন্তু যদি বাঁধের নিষ্কাশনপথ (Spillway) এবং বিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্র (Power House) সংলগ্ন হয়, সেক্ষেত্রে বাঁধের ভিত্তি পর্য্যায়ের উপযুক্ত শিলাসংস্তরের আরও নিম্ন অবধি ছিদ্র করিয়া অন্বেষণ করা হয় যাহাতে স্থিতিশীলতার কোনরূপ সন্দেহের অবকাশ না থাকে। সাধারণতঃ বৃহদাকারের বাঁধের ক্ষেত্রে নদীবক্ষে

যে ভূছিদ্র করা হয় সেগুলির বেধ (Depth) বাঁধের উচ্চতার সমান হয়, তবে এ বিষয়েও ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের ও Designer-এর পরামর্শানুযায়ী কাজ করা হয়। এই ভূছিদ্রকরণ খুবই ব্যয়বহুল, সেকারণ পাতালিক অনুসন্ধানের ব্যাপারে বাঁধের নিরাপত্তার জন্য যতটুকু প্রয়োজন ততটুকুর মধ্যে ইহা সাধ্যমত সীমিত রাখার চেষ্টা করা হয়। পৃথিবীর কয়েকটি বৃহদাকারের বাঁধ নির্মাণে নিম্নলিখিত পরিমাণের ভূছিদ্রকরণ করা হইয়াছিল—

(a)	Bhakra Dam, India.	11200 মিটার (approx)
(b)	Grand Coulee Dam, U.S.A.	11211 মিটার (,,)
(c)	Chikamuga Dam, (TVA), U.S.A.	27270 মিটার (,,)

উপরোক্ত ভূছিদ্রের পরিমাণ যদিও খুব বেশী বলিয়া মনে হয় তথাপি নিরাপত্তার হেতু ইহা বাঞ্ছনীয় এবং প্রয়োজনীয় ছিল। তাহা ছাড়া দেখা গেছে যে ভূছিদ্রকরণ ও অন্যান্য পাতালিক অনুসন্ধান বাবদ খরচ বাঁধের নির্মাণের মোট খরচের মাত্র দুই শতাংশের মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকে। ভূছিদ্রকরণ ছাড়াও abutments-এর প্রস্তর সমূহের গাঠনিক তাৎপর্য্য ও অবস্থার নির্ণয়ে সুড়ঙ্গের সাহায্য লওয়া হয়। বিশেষতঃ বৃহদাকারের বাঁধের ক্ষেত্রে এবং যেখানে অপরিসর নদীবক্ষের দুই পাশের ঢালু পর্বতগাত্র মত্তিকাদ্বারা আচ্ছাদিত থাকে, সেইরূপ স্থলে abutments-এ ভিন্ন ভিন্ন লেভেলএ সুরঙ্গ (Drift) কাটিয়া সরেজমিনে ভূতাত্বিক অবস্থার নিরীক্ষা করা হয়। এই drift-গুলির মেঝে মোটামুটি অনুভূমিক থাকে এবং ইহাদের তির্যকচ্ছেদ (cross section) অল্প হয়। পর্বত গাত্রে ইহাদের দৈর্ঘ্যের মাত্রা অবস্থাবিশেষে কম বেশী হয় এবং সাধারণতঃ বাঁধের নিরাপত্তার জন্য যতটুকু উহার বাঁধন পর্বত গাত্রে (Abutments) আবদ্ধ করার প্রয়োজন তাহাপেক্ষা কিঞ্চিৎ বেশী ঐ সুড়ঙ্গগুলি দীর্ঘ করা হয়।

উপরে বর্ণিত বিভিন্ন প্রকারের পাতালিক অনুসন্ধান সম্বন্ধে পূর্বেই চতুর্থ অধ্যায়ে বিশদভাবে আলোচনা করা হইয়াছে। এখন বাঁধের নিকাশনপথ (spillway) নির্মাণসম্বন্ধে কয়েকটি অতিপ্রয়োজনীয় ব্যবস্থা সম্বন্ধে আলোচনা করা হইতেছে। যে সকল বড় বড় বাঁধের spillway অপেক্ষাকৃত বৃহদাকারের হয় এবং বাঁধ হইতে পৃথক জায়গায় গঠিত হয়, সেক্ষেত্রে এই spillway-র নির্মাণ অনেকাংশে একটি ছোট কংক্রীটের বাঁধ নির্মাণের সমান হয়। ইহার নির্মাণে বাঁধ নির্মাণের জন্য প্রয়োজনীয়

সকল রকম ব্যবস্থাই অবলম্বন করিতে হয় এবং ইহার নির্মাণ খরচও প্রায় সমপর্য্যায়ের হয়। এই পৃথক spillway-র নির্মাণে উহার crest, chute এবং training walls-গুলির ভিত্তিস্থানের স্থিতিশীলতা সম্বন্ধে বিশেষভাবে ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান অবশ্য কর্তব্য। Chute এবং Stilling basin-এর অব্যবহিত downstream দিকে নদীপথে প্রস্তর সমূহের ক্ষয়প্রবণতা নির্ধারণ করা খুবই প্রয়োজন। তাহা ছাড়া প্রবলবেগে নিষ্কাশিত জলপ্রবাহের আঘাতে ঐ সকল প্রস্তর ক্রমশঃ ভাঙ্গিয়া স্থানচ্যুত হইবার সম্ভাবনা আছে কি না তাহাও নির্ধারণ করা দরকার। এই অনুসন্ধান কার্য্যের ফলে যদি দেখা যায় যে chute নির্মাণের ভিত্তিস্থানের শিলাসংস্তর যথোচিত কঠিন ও অক্ষত, সেক্ষেত্রে কংক্রীটের stilling basin নির্মাণের প্রয়োজন হয় না এবং তাহাতে ব্যয় সঙ্কোচ করা সম্ভব হয়। এইরূপ পৃথক spillway-র নির্মাণে বাঁধের সন্নিকটে প্রাকৃতিক স্থলাকৃতিজনিত কোন খাঁজ (Saddle) থাকিলে এবং ঐ স্থানের তলদেশে অক্ষত ও কঠিন শিলাসমাবেশ থাকিলে উহা spillway-র জন্য আদর্শস্থান বলিয়া গণ্য হয়। এই ধরণের প্রাকৃতিক saddle বাঁধনির্মাণকালে মূল নদীর জলের গতিপথ পরিবর্তনসাধনে বিশেষ সহায়তা করে।

কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষা ও পাতালিক অনুসন্ধান কার্য্য যেমন যেমন অগ্রসর হইতে থাকে, সেই সকল ফলাফলের উপর নির্ভর করিয়া ইঞ্জিনীয়ারগণ বাঁধের গঠনের design ও নক্সা প্রস্তুত করিতে থাকেন এবং তাঁহাদের এই নক্সা প্রস্তুতের সময়ে আরও কিছু ভূতাত্ত্বিক গুণাগুণ সম্বন্ধে জানিতে চাহিলে অতিরিক্ত ভূছিদ্রকরণের আবশ্যক হয়। বাঁধের স্থান নির্ণয়ে এবং কি ধরণের বাঁধ ঐ নির্ধারিত স্থানে কার্য্যকরী এবং স্থিতিশীল হইবে এই সকল বিষয়ে ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান পর্য্যায়ক্রমে করা হইলে পর এই অনুসন্ধানের ফলাফলও পর্য্যায়ক্রমে লিপিবদ্ধ করা হয়। সর্বশেষে ঐ সকল বিভিন্ন পর্য্যায়ের ভূতাত্ত্বিক বিবরণ একত্রে লিপিবদ্ধ করিয়া এবং পাতালিক ও অন্যান্য অনুসন্ধান ইত্যাদির দ্বারা লব্ধ সকল ফলাফল শ্রেণী ভাগে সন্নিবেশ করিয়া সংশ্লিষ্ট বাঁধের একটি সম্পূর্ণ রিপোর্ট তৈয়ারী করা হয়। এই সম্পূর্ণ রিপোর্টে বাঁধের নির্ধারিত স্থানের, বাঁধজনিত জলাধারের এবং বাঁধের আনুষঙ্গিক গঠনগুলির স্থান-সমূহের ভূতাত্ত্বিক গুণাগুণের বিশদ বর্ণনা ও ব্যাখ্যা অবশ্য স্থান পায়। তাহা ছাড়া বাঁধ নির্মাণের সময়ে প্রয়োজনীয় বিশেষ ব্যবস্থা সমূহের অবলম্বনের বিষয়েও উল্লেখ থাকা একান্ত বাঞ্ছনীয়। বাঁধের ভিত্তিস্থানে

খননকার্য্য চালাইবার পর ভূনিম্নে শিলাসংস্তরের যে সকল ত্রুটী যথা—ভঙ্গ (Fractures), সন্ধি (Joints), চ্যুতি (Faults) ইত্যাদি পরিস্ফুটিত হয় সেগুলির মানচিত্র এই রিপোর্টের আর একটি বিশেষ অঙ্গ হিসাবে থাকে। কারণ এই ত্রুটীগুলি ভবিষ্যতে বাঁধের স্থিতিশীলতার কি পরিমাণ ক্ষতিসাধন করিতে পারে সেই বিষয়ে অনুশীলন করিয়া উহাদের প্রতিরোধকল্পে সকল রকম ব্যবস্থা অবলম্বন করা হয়। অনেকক্ষেত্রে বাঁধের ভিত্তি নির্মাণের জন্য খননকার্য্য আরম্ভ করিবার পর এমন কিছু দোষ-ত্রুটী গোচরীভূত হয় যাহা পাতালিক অনুসন্ধানের সময়ে জানা যায় নাই। সুতরাং এইসব ক্ষেত্রে আরও ভূছিদ্রকরণের প্রয়োজন হয় এবং এইগুলি অবস্থা বিশেষে পনর মিটারের বা কিছু বেশী দূরত্বের ব্যবধানে করা হয় ও ভিত্তিস্থাপনের উপযুক্ত অক্ষত ও কঠিন শিলাস্তর অবধি এই ভূছিদ্রকরণ করিয়া ঐ লেভেল হইতে গাঁথনি করা হয়। যে সকল ক্ষেত্রে ভিত্তির লেভেল অবধি পৌঁছিয়াও দেখা যায় যে ফাটল (cracks) এবং সন্ধিগুলি (Joints) আরও নীচে অবধি বিদ্যমান, সে স্থলে অতি বেশী চাপে সিমেণ্ট ঐ সকল ত্রুটীপূর্ণ স্থানে প্রবেশ করাইয়া দেওয়া হয়। ইহা দ্বারা পাতালিক ফাটল ও ছিদ্রগুলি সিমেণ্ট কর্তৃক পূরণ হইয়া যায় ও জলক্ষরণের কোনরূপ সম্ভাবনা থাকে না। এই পদ্ধতিকে grouting বলা হয়। এই চাপে সিমেণ্ট প্রবেশ করাইবার সময়ে দেখা যায় যে ক্রমশঃ সিমেণ্টের অন্তর্প্রবেশের মাত্রা কমিয়া যায় এবং পরিশেষে আর প্রবেশ করে না। এইরূপ অবস্থায় পৌঁছিলে বুঝা যায় যে পাতালিক ছিদ্র ও ফাটলগুলির সম্পূর্ণভাবে পূরণ হইয়া গিয়াছে। কয়েক ক্ষেত্রে দেখা গেছে যে এই ফাটল পূরণের কাজ নিরর্থক হইতেছে। তখন আরও ভূছিদ্রকরণের প্রয়োজন হয় ও কত বেধ অবধি খনন কার্য্য চালাইতে হইবে তাহা নির্ধারণ করা হয়। Grouting সম্বন্ধে দশম অধ্যায়ে বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে।

নিম্নের দুইটি চিত্র হইতে বাঁধ নির্মাণের স্থানের অনুসন্ধান কার্য্যে ভূছিদ্রকরণের ভূমিকা এবং তাহার উপকারিতা সম্বন্ধে ধারণা করা যাইবে। দশ নম্বর চিত্রে ভূছিদ্রকরণ কিভাবে চ্যুতির উপস্থিতি নির্ধারণ করিতে সক্ষম হইয়াছে তাহা দেখান হইয়াছে। একাদশ সংখ্যার চিত্রে বাঁধের দুই abutments-এ এবং নদীবক্ষে ভূছিদ্র করিয়া কি ভাবে নিরীক্ষণ করা হয় তাহার আভাষ পাওয়া যাইবে। বাঁধের উচ্চতা যতটা হইবে, ঠিক ততটা নদীবক্ষে নীচের দিকে ভূছিদ্র করা হয়। এই নিরীক্ষণ-

মূলক ভূছিদ্রগুলি হইতে আহরিত তথ্য সমূহ ভবিষ্যতের কর্মসূচী প্রস্তত করিতে সহায়ক হয়।

Fig. 10

Fault evidence at damsite

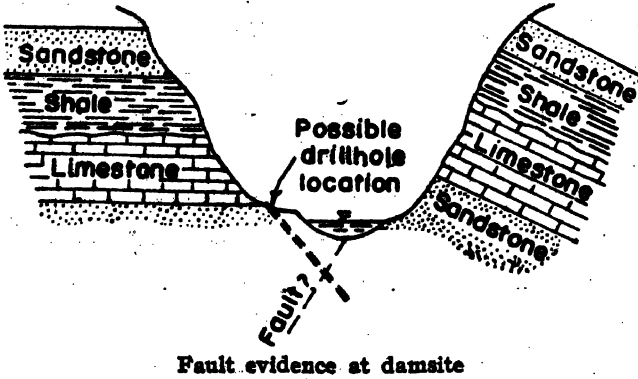
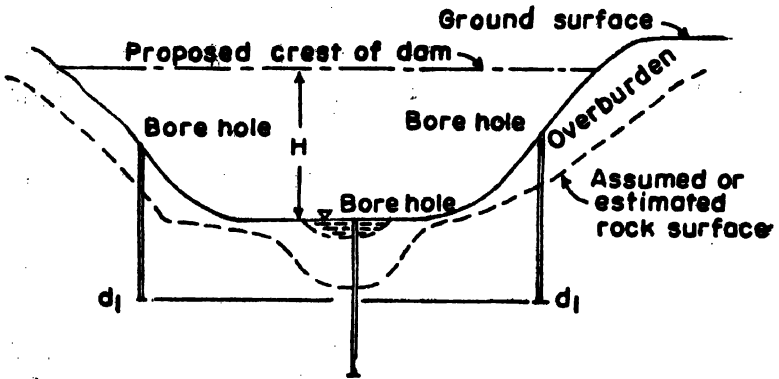



Fig. 11

Reconnaissance drilling programme

EARTH DAM

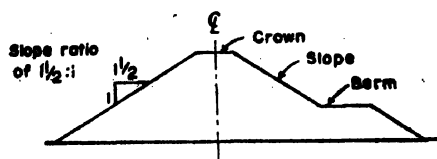
পূর্বেই বলা হইয়াছে যে কল্পিত বাঁধের উচ্চতা যদি বেশী না হয় এবং নদীবক্ষ যদি বালু ও উৎপলের মোটা আচ্ছাদন দ্বারা আবৃত থাকে ও নিকটেই উপযুক্ত গুণসম্পন্ন মৃত্তিকা যথেষ্ট পরিমাণে পাওয়া যায়, সেই স্থলে Masonry dam অপেক্ষা Earth dam নির্মাণ সুবিধাজনক ও ব্যয়সুলভ হয়। Earth dam-এর উচ্চতা সাধারণতঃ ষাট (60) মিটারের মধ্যে সীমাবদ্ধ থাকে, যদিও সম্প্রতি আমেরিকার নব্বই

(90) মিটারের বেশী উঁচু earth dam নির্মাণ করা সম্ভব হইয়াছে। Anderson Ranch Dam ইহার একটি উদাহরণ। মুখ্যতঃ যে কোন উপত্যকার আড়াআড়ি মাটির বাঁধকে earth dam বলা হয়। ইহাকে "fill" আখ্যাও দেওয়া হয়। প্রকৃতপক্ষে এই earth dam embankment-এর নামান্তর মাত্র, তবে এই বাঁধের দৈর্ঘ্য উহার প্রস্থ ও উচ্চতার বহুগুণ হয় এবং ইহা প্রধানতঃ trapezoid আকারের হয়। ইহা যতদূর সম্ভব নিশ্ছিদ্র অবস্থায় হওয়া প্রয়োজন যাহাতে জলাধার হইতে জলক্ষরণের মাত্রা উপেক্ষণীয় হয়। ইহার নির্মাণের design এরূপভাবে করা হয় যে দুই দিকের ঢালগুলি খুব শক্ত ও স্থায়ী হয় এবং আর একটি বিশেষ লক্ষণীয় বিষয় এই যে বাঁধ নির্মাণ শেষ হইয়া গেলে উহার crest এত বেশী বসিয়া না যায় যাহাতে ঐ বাঁধের free board অতিশয় বিপজ্জনক মাত্রায় পৌঁছায়। বাঁধের জলাধারে যে তরঙ্গের সৃষ্টি হয় তাহার আঘাতে upstream দিকের ঢালের ক্ষতিগ্রস্ত হওয়ার সম্ভাবনাকে যতদূর সম্ভব দূরীকরণের উপায় অবলম্বন করিতে হয়। অন্যদিকে বাঁধের downstream দিকের ঢালের যাহাতে প্রবল বৃষ্টিপাতের জন্য ক্ষয়সাধন অতি অল্প বা নগণ্য হয় সে বিষয়েও বিশেষ লক্ষ্য রাখা হয়। Earth dam এর ভিত্তি স্থানের সহিত উহার বাঁধন খুবই দৃঢ় এবং ঘনিষ্ঠ হওয়া একান্ত আবশ্যক যাহাতে ঐ সংযোগ স্থল দিয়া হানিকর জলক্ষরণের পথ (Piping) উল্লেখযোগ্যভাবে বিস্তার লাভ করিতে সক্ষম না হয়। তাহা ছাড়া ঐ জলক্ষরণের উপযুক্ত নিষ্কাশনের ব্যবস্থা করা হয়, অন্যথায় জলাধারের সঞ্চিত জলরাশির উদস্থিতিজনিত (Hydrostatic) চাপ ঐ সংযোগস্থলে সক্রিয় হইয়া উঠে এবং ফলে বাঁধের উত্তোলন হইবার আশঙ্কা দেখা দেয়।

সাধারণ মৃত্তিকা বা নিকৃষ্ট মানের শিলাসংস্তরের উপরও ভিত্তিস্থাপনা করিয়া সু-উচ্চ earth dam নির্মাণ করা সম্ভব হয়। বিশেষতঃ যেখানে উপত্যকা বেশ প্রশস্ত সে স্থলে earth dam নির্মাণ খুবই ব্যয়সুলভ হয়। তাহা ছাড়া ঐ earth dam-এর crest-এর প্রস্থ সাধারণতঃ masonry dam-এর প্রস্থ অপেক্ষা বেশী হওয়ায় উহার উপর দিয়া চওড়া রাস্তা (Highway) নির্মাণ সম্ভব হয়। অতিশয় শীতপ্রধান দেশে earth dam বেশী বাঞ্ছনীয় কারণ হিমীভূত (Freezing) জলহাওয়ার (Weather) নাশকতামূলক প্রভাব ইহা প্রতিহত করিতে পারে। তবে যদি earth dam-এর তলদেশ খুব প্রশস্ত হয় এবং বাঁধের দৈর্ঘ্য বেশী হয়, সেক্ষেত্রে

বাঁধ নির্মাণের সময়ে নদীর জলকে সুড়ঙ্গ বা অন্য কোন প্রণালীর সাহায্যে গতি পরিবর্তন করাইতে বহু অর্থ ব্যয় হয়। Earth dam-এর নির্মাণ-কল্পে ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান কার্য্য মোটামুটি masonry dam-এর ক্ষেত্রের মতনই হয়, তবে ইহা খুব ব্যাপকরূপের হয় না।

Masonry dam-এর ক্ষেত্রে যে সকল আখ্যার (Terms) দ্বারা বাঁধের বিভিন্ন অংশের উল্লেখ করা হয়, earth dam-এর ক্ষেত্রেও সেইগুলি প্রযোজ্য। তবে ইহার design ও নির্মাণের বৈশিষ্ট্যের জন্য কতকগুলি পৃথক আখ্যা ব্যবহৃত হয় যথা—crown, slope, berm ইত্যাদি। এই আখ্যাগুলি নিম্নের চিত্র হইতে সহজে বোধগম্য হইবে।

Fig. 12

Embankment

Berm বলিতে বাঁধের ঢালের যে অংশ বেশ প্রশস্ত ও অনুভূমিক তাহাকেই বুঝায়। পাহাড়ের গায়ের যে অংশকে কাটিয়া অনুভূমিক বা ঈষৎ ঢালু অবস্থায় পরিণত করা হয় berm তাহারই সদৃশ; তবে পূর্বোক্ত ক্ষেত্রে উহা bench বলিয়া খ্যাত হয়। যে স্থান হইতে খনন করিয়া earth dam নির্মাণের জন্য মৃত্তিকা ইত্যাদি সংগ্রহ করা হয় তাহাকে borrow pit বলা হয় এবং ঐ মৃত্তিকাজাতীয় উপাদানকে borrow materials বলে। Earth dam-এর ঢালের তুঙ্গতার মান (Steepness) সাধারণতঃ বাঁধের ঢালের অনুভূমিক অঙ্কের সহিত উচ্চতার অনুপাত (Ratio) দিয়া বুঝান হয়। এই অনুপাত বেশীর ভাগ ক্ষেত্রে $1\frac{1}{2}:1$ হয়, তবে বাঁধ ছোট আকারের হইলে ইহা $1\frac{1}{2}:1$ হয়। দ্বাদশ সংখ্যার চিত্রে এই slope ratio কাহাকে বলে তাহা দেখান হইয়াছে। Earth dam-এর upstream দিক হইতে downstream দিকে অনবচ্ছিন্ন জলক্ষরণ ক্রমান্বয়ে হয় এবং এই অন্তর্গামী জলবাহী পথের উপর সীমাকে "phreatic line" বলে।

EARTH DAM-এর শ্রেণীভাগ—Masonry Dam-এর ন্যায় Earth Dam-ও নির্মাণ প্রণালীর তারতম্য হেতু বিভিন্ন শ্রেণীতে বিভক্ত যথা—(a) Hydraulic-fill Dam ; (b) Semi hydraulic-fill Dam ; এবং (c) Rolled-fill Dam ; প্রথমটির নির্মাণে borrow pit হইতে উপাদান সমূহ জলের সাহায্যে বাহিত করাইয়া নির্ধারিত স্থানে জমা করা হয় ; দ্বিতীয়টির ক্ষেত্রে ঐ উপাদান borrow pit হইতে খনন করিয়া যান্ত্রিক উপায়ে বাঁধের নির্মাণস্থলের কাছাকাছি আনিয়া নির্ধারিত স্থানে water jet দ্বারা নিক্ষেপিত হয় ; আর তৃতীয়টির নির্মাণে মৃত্তিকা জাতীয় উপাদান earth mover জাতীয় যন্ত্রের সাহায্যে সরাইয়া আনিয়া নির্ধারিত স্থানে জমা করা হয় এবং বর্তন যন্ত্রের (Roller) সাহায্যে দৃঢ় সংবদ্ধ (compacted) করা হয়। আমেরিকার Montana-য় অবস্থিত Fort Peck Dam এবং Nebraska-য় অবস্থিত Kingsley Dam সারা পৃথিবীর মধ্যে hydraulicfill বাঁধের তালিকায় যথাক্রমে প্রথম ও দ্বিতীয় স্থান অধিকার করে।

Hydraulic-fill dam-এর প্রধানত: কেন্দ্রস্থলে একটি Core এবং দুই পাশে ঢালু আবরণ (Shell) থাকে। আগেই বলিয়াছি যে ইহার নির্মাণের জন্য borrow pit হইতে উপাদানসমূহ জলের সাহায্যে বহন করিয়া আনা হয়। এইজন্য borrow pit-এর অনাবৃত ভাগে অতি উর্ধ্বচাপে জল নিক্ষেপ করা হয় এবং ইহার ফলে মৃত্তিকা সমূহ জলেতে ভাসমান অবস্থায় জলপ্রণালীর সাহায্যে বাঁধের নির্ধারিত স্থানে পৌঁছিলে পর উহা sluice এর ভিতর দিয়া নিঃস্রাবিত করা হয় এবং এই জায়গায় সাময়িক একটি ছোট বাঁধের ন্যায় অন্তরায় গাঁথিয়া ঐ ভাসমান মৃত্তিকাপূর্ণ জলরাশির উপচাইয়া পড়া রোধ করা হয়। এই প্রথায় ঐ বাঁধের নির্মাণ স্থানে জলভাণ্ডারের সৃষ্টি হয় ও ঐ জলেতে ভাসমান মোটা (coarse) উপাদানসমূহ ধারের দিকে জমিতে থাকে এবং সূক্ষ্ম ও মিহি মৃত্তিকা সমূহ মধ্যস্থলে জমিয়া গিয়া একটি নিশ্ছিদ্র কেন্দ্রে গড়িয়া উঠে। কেন্দ্রস্থলের এই core যতদূর সম্ভব নিশ্ছিদ্র হয় যাহাতে masonry dam-এর মতন ইহার একদিক হইতে অন্যদিকে জলের গতি থাকে না। তবে এই প্রকার বাঁধ নির্মাণকালে কেন্দ্রস্থলে তরল সূক্ষ্ম উপাদান ক্রমান্বয়ে জমিতে থাকায় উহার পার্শ্বচাপ বৃদ্ধি পাইতে থাকে এবং যদি এই বাঁধের পার্শ্ববর্তী অংশগুলি তাহাদের নিজ নিজ ভারে দৃঢ়ীভূত হইয়া কেন্দ্রস্থানীয় ঐ তরল ঘণীভূত উপাদানের পার্শ্বচাপ প্রতিহত করিতে

গর্ত না হয়, সেরূপ অবস্থায় নির্মীয়মাণ বাঁধের স্খলনের আশংকা দেখা দেয়। উদাহরণস্বরূপ উল্লেখ করা যাইতে পারে যে আমেরিকার California-র Calaveras Dam এবং Hawaii তে Alexander Dam নির্মাণকালে এইরূপ বিপত্তির সম্মুখীন হইয়াছিল, যদিও পরে এইগুলি মেরামত করাইয়া লওয়া হইয়াছিল। তবে কেন্দ্রীয় core-এর উপাদান যেমন যেমন ঘনীভূত হইতে থাকে, তজ্জনিত পার্শ্ব চাপের মাত্রাও কমিতে থাকে। সুতরাং এই প্রকারের বাঁধের বহির্দিকের অংশ নির্মাণের design এরূপ সুসজ্জিত করা হয় যাহাতে কেন্দ্রস্থানীয় অর্ধ তরল অবস্থার core-এর উপর মন্ডুজনিত গুরুচাপের সৃষ্টি না হয়। কেন্দ্রস্থলের core নির্মাণে ভাসমান মৃত্তিকাজাতীয় উপাদান যেন অতি সূক্ষ্ম না হয়, কারণ তাহা হইলে ঐ core অহেতুক বৃহদাকারের হয়। এই প্রকার বাঁধের পার্শ্বস্থানের ঢালু অংশ নির্মাণে উপযুক্ত পরিমাণে প্রস্তর ও অশোপল (cobble) ব্যবহার করা বাঞ্ছনীয়।

নিম্নের চিত্র হইতে hydraulic-fill dam-এর বিভিন্ন অংশ সম্বন্ধে ধারণা করা সহজ হইবে।

Fig. 13

Hydraulic-fill dam. Note steep slopes of core

Semi hydraulic-dam-এর নির্মাণ পদ্ধতি উপরে বর্ণিত hydraulic-fill dam-এর মতনই, কেবল উপাদান সংগ্রহ ভিন্ন প্রকারের হয়।

Rolled-fill dam যে উপাদানের দ্বারা নির্মিত হয় তাহার পূরণের বৈশিষ্টের দ্বারা ইহার শ্রেণী নির্ণয় করা হয় যথা—Zoned ও Homogeneous type; zoned type-এ কয়েকটি স্তর (Layer) বা ভাগ (zone) থাকে এবং ইহার নির্মাণের বিশেষত্ব এই যে কেন্দ্রস্থান (core) হইতে বাহিরের ঢালু অংশের দিকে প্রবেশ্যতার মান বেশী হয়। কয়টি ভাগে ইহা নির্মাণ করা হইবে তাহা বহুলাংশে borrow material-এর প্রকারভেদ ও সহজ প্রাপ্যতার উপর নির্ভর করে। Homogeneous

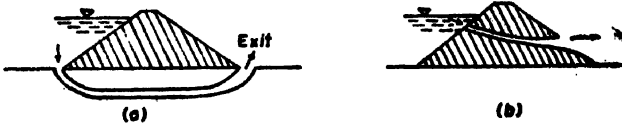
type-এর বাঁধ একই প্রকারের উপাদানে নির্মিত হয়। Zoned dam-এর নির্মাণে core এবং zone-এর উপাদান এককালীন নির্ধারিত স্থানে জমা করা হয় এবং দৃঢ় সংবদ্ধ করা হয়। এই প্রকার বাঁধের স্থিতিশীলতা উহার দুই পাশের বহিরাংশের উপাদানের ভারের চাপের উপরে বহুলাংশে নির্ভরশীল। Homogeneous type বাঁধ সাধারণতঃ মৃত্তিকার দ্বারাই নির্মাণ করা হয় এবং ইহার বাহিরের দিকে ঢালু অংশের উপর নির্মাণের উপাদানের প্রকারভেদ না থাকায় এবং ভারজনিত চাপ উল্লেখযোগ্য না হওয়ায় ইহার নির্মাণের design-এ বাহিরের দিকের ঢাল অনেক কম করা হয় ও ইহার দ্বারা অন্তর্স্রাবী জলের গতিবেগ অনেক হ্রাস পায়। ফলে বাঁধ হইতে জলক্ষরণের সম্ভাবনা আয়ত্বাধীন করা যায়।

Earth dam-এর নিরাপত্তা ও স্থিতিশীলতা বহুলাংশে উহার দুই দিকের ঢালের তারতম্যের উপর নির্ভর করে। সেই কারণে ইহার নির্মাণে slope-এর design গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে। এই প্রকার বাঁধের সকল স্থানে উর্ধ্বাধ চাপ যাহাতে সমানরূপে বিরাজ করে, সেইজন্য ইহার ঢাল শীর্ষ (Crest) স্থান হইতে পাদদেশ অবধি ক্রমশঃ কমাইয়া দেওয়া হয়। মৃত্তিকা নির্মিত বাঁধের ক্ষেত্রে upstream দিকে ঢালের মোটামুটি অনুপাত ইহার জলাধারের সর্বোচ্চ সীমার (Maximum water level) উপরের ভাগে 2 : 1 হয় এবং এই সীমার (যাহাকে water line বলা হয়) নীচের দিকে 3 : 1 হয়। কিন্তু downstream দিকে ঢালের অনুপাত 2 : 1 অথবা আরও সমতলভাবের হয়। Earth dam-এর downstream দিকে এক বা ততোধিক berms থাকে এবং এইগুলির মধ্যে উর্ধ্বাধ (Vertical) ব্যবধান সাধারণতঃ পনর মিটার হয়। Berms-গুলির উপরিভাগ হইতে বৃষ্টির জল নির্গম প্রণালীর সু-ব্যবস্থা করা হয় যাহাতে বাঁধের স্থিতিশীলতার কোনরূপ ক্ষতি না হয়। প্রয়োজনবোধে upstream দিকেও berms থাকে। Earth dam-এর পাদদেশের (Toe) দুই দিকেই বেশ কিছুটা উঁচু জায়গা প্রস্তরের টুকরা দ্বারা আবৃত করিয়া দেওয়া হয়। ইহাতে বাঁধের স্থিতিশীলতা বৃদ্ধি পায় এবং জলক্ষরণের মাত্রাকে নিয়ন্ত্রণ করা যায়। মৃত্তিকাজাতীয় নির্মাণের উপাদান যত মিহি হয়, বাঁধের ঢালও ততই কম করা হয় এবং যদি এই উপাদান একজাতীয় (Homogeneous) হয়, সেক্ষেত্রে water line-এর নিম্নভাগের ঢালের অনুপাত 4 : 1 হয়। আবার যদি এই উপাদানে Clay মাটির অংশ বেশী থাকে,

তাহা হইলে বাঁধের পাদদেশের ঢালের অনুপাত 10 : 1 অবধি করা হয়ে থাকে। উপাদানের গুণাগুণের পার্থক্য ছাড়াও বাঁধের ভিত্তিস্থানের দৃঢ়তা ও ভারবহনের সম্যক সক্ষমতার উপর বাঁধের দুইদিকের ঢালের অনুপাত নির্ভর করে। ভিত্তিস্থান অপেক্ষাকৃত দুর্বল হইলে বাঁধের ঢাল খুবই কম করা হয়। ইহার দ্বারা বাঁধের ভারজনিত চাপ ভিত্তিস্থানে ও তাহার নিম্নদেশে বেশীদূর অবধি সম্প্রসারিত হয় এবং তাহাতে বাঁধ বসিয়া যাওয়ার বা ধ্বসিয়া পড়ার সম্ভাবনা অনেকাংশে হ্রাস পায়। কিন্তু ভিত্তিস্থানের যন্ত্রী (Shear) শক্তি Earth dam নির্মাণের সময়েই অনেক-ক্ষেত্রে হঠাৎ লোপ পায় এবং ফলে নির্মাণকার্য্যে বিঘ্ন ঘটায়। এই যন্ত্রীশক্তি লোপ পাওয়ার প্রধান কারণ হইল বাঁধের উপাদান জনিত ক্রম-বর্ধমান ভার। এই ভার যেমন বাঁধের নিম্নাংশের দৃঢ়ীভবনে (Consolitation) সাহায্য করে, অপর দিকে ভিত্তিস্থানের নিম্নভূমির উপর অতিরিক্ত চাপ সৃষ্টি করে এবং এই দুই বিপরীত ক্রিয়ার ফলাফল অনেক সময়ে নির্মীয়মান বাঁধের ক্ষতি সাধন করে। বাঁধ নির্মাণের উপাদানের দৃঢ়ীভবন ধীরে ধীরে হইতে থাকে, কিন্তু ঐ উপাদানের ভারজনিত চাপ সত্বর সক্রিয় হইয়া উঠে বিশেষত: যে সকল ক্ষেত্রে উপাদান অতি দ্রুত মাত্রায় জমা করা হয়। এইরূপ পরিস্থিতিতে যন্ত্রীশক্তির লোপসাধন হঠাৎ হইয়া বাঁধের স্খলন ঘটায়। বাঁধ নির্মাণ সম্পূর্ণ হইয়া যাওয়ার পর উহার জলাধার পরিপূর্ণ হইয়া গেলে বাঁধের বেশীর ভাগ অংশ জলমগ্ন থাকে এবং ঐ জলরাশি প্লাবিত (Buoyancy) চাপ সৃষ্টি করে। এই চাপ উপরের দিকে কার্য্যক্ষম হওয়ায় বাঁধের ভারজনিত নিম্নমুখী স্থিতীয় (Static) চাপ অনেকটা হ্রাস পায়। কিন্তু যদি কোন কারণে জলাধার দ্রুত শূন্য করিয়া ফেলা হয়, সেক্ষেত্রে এই জলরাশির প্লাবিত চাপ একেবারে থাকে না অথচ বাঁধের মৃত্তিকাসমূহ পরিপূর্ণ সিক্ত অবস্থায় অধিক মাত্রায় স্থিতীয় চাপ দিতে থাকে। এরূপ অবস্থায়ও Earth dam-এর স্খলনের সম্ভাবনা খুব বৃদ্ধি পায়।

এখন Earth dam-এর নির্মাণে যে সকল ত্রুটী থাকায় উহার ধ্বংসের আশঙ্কা থাকে সেই সকল বিষয়ে কিছু আলোচনা করা হইতেছে। Spillway-র জল নিকাশন ক্ষমতা প্রয়োজন মত না হওয়ায় অথবা নির্মাণকালে যে গতিপরিবর্তনকারী সুড়ঙ্গ বা প্রণালী (Diversion tunnel) প্রস্তুত করা হইয়া থাকে তাহার দ্বারা ঐ নদীর অববাহিকায় হঠাৎ প্রবল বর্ষণ জনিত জলরাশির নিকাশন সম্ভব না হইলে বাঁধ

উপচাইয়া জলরাশি প্রবাহিত হইতে থাকে এবং তাহাতে বাঁধ ভাঙিয়া পড়ে। Earth dam-এর স্খলনের জন্য দায়ী আর একটি প্রধান ত্রুটী হইল বাঁধের তলদেশ হইতে জলক্ষরণ (Piping)। ইহাতে বাঁধের ভিত্তিস্থানের উপাদান সরিয়া যায় এবং উহা ক্রমশঃ ধ্বংসের মুখে পতিত হয়। Earth dam-এর মধ্য দিয়া অথবা উহার ভিত্তিস্থান দিয়া যদি জলাধার হইতে অন্তর্স্রাবণের পথ দীর্ঘায়িত করিয়া দেওয়া হয়, তাহাতে Piping-এর হানিকর প্রভাব বহুলাংশে এড়ানো সম্ভব হয়।

Fig. 14

Final stages of piping: (a) through foundation, (b) through fill.

উপরের চিত্র হইতে এই বিষয় সহজে বোধগম্য হইবে। বাঁধের নিম্নে Cut-off wall অথবা নিশ্ছিদ্র Core গঠনের দ্বারা এই অন্তর্স্রাবণের পথ দীর্ঘায়িত করা হয়। অধিকন্তু বাঁধের upstream দিকে পাদদেশে নিশ্ছিদ্র আচ্ছাদনের সাহায্যেও এই পথ বর্দ্ধিত করা হয়। আচ্ছাদন দেওয়ার উপাদান সহজলভ্য না হইলে বাঁধের তলভাগ (Base) চওড়া করিয়াও এই অন্তর্স্রাবণ পথ বর্দ্ধিত করিয়া Piping এড়ানো হয়।

নিম্নের চিত্রে এই জলক্ষরণকে (Seepage) বিভিন্ন উপায়ে আয়ত্তাধীনে আনিবার পন্থা দেখান হইয়াছে।

Fig. 15

Various types of seepage control.

ভিত্তিস্থানে যদি বাঁধের ভারজনিত বিচ্ছেদ ঘটে, সে স্থলেও বাঁধ ধ্বসিয়া পড়ে। এই সকল কারণ ছাড়াও বাঁধের upstream দিকের অংশ যদি প্রস্তর দ্বারা অথবা অন্য কোন উপায়ে দৃঢ় ও সংরক্ষিত না করা হয় তাহা হইলে জলাধারের জলরাশিতে প্রচণ্ড ঝড়ে যে তরঙ্গের সৃষ্টি হয় তাহার ক্রমাগত ধাক্কায় উহা ক্ষতিগ্রস্ত হয় এবং পরিশেষে বাঁধের স্খলন হয়। Earth dam-এর ঢালু অংশ (বিশেষতঃ upstream দিকের) যদি এরূপ মৃত্তিকার দ্বারা নির্মাণ করা হইয়া থাকে যাহা জলের সংস্পর্শে ফুলিয়া উঠে, সেরূপ ক্ষেত্রে ঐ জাতীয় মৃত্তিকা যতই সংবদ্ধ করা হোক্ না কেন, উহা জলাধারের সঞ্চিত জলের সংস্পর্শে ফুলিয়া উঠিয়া উহার যন্ত্রীশক্তির বিলোপ সাধন করে এবং পরিশেষে বাঁধের স্খলন ঘটায়।

EARTH DAM-এর নির্মাণকল্পে ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান

এই জাতীয় বাঁধের নির্মাণে যে সকল ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান করা বিশেষ প্রয়োজনীয় সেই সম্বন্ধে এখন আলোচনা করা হইতেছে। সাধারণতঃ masonry dam-এর নির্মাণকল্পে প্রাথমিক পর্য্যায়ে যে সকল বিষয়ের অনুসন্ধান করা হয়, Earth dam-এর ক্ষেত্রেও সেইগুলি প্রযোজ্য। Earth dam অপেক্ষাকৃত নিকৃষ্ট শক্তির ভিত্তির উপর নির্মাণ করা সম্ভব, কিন্তু ইহার spillway নির্মাণের জন্য masonry dam-এর spillway-র ব্যাপারে যে অনুসন্ধান করা হয় তাহার অপেক্ষা আরও কঠোর ও সুনিপুণ অনুসন্ধানের প্রয়োজন হয়। বস্তুতঃ earth dam-এর design প্রস্তুতের সময়ে উহার spillway নির্মাণের স্থান বাঁধ হইতে পৃথক স্থানে নিকটেই বা কিছু দূরে স্থির করা হয়।

Earth dam-এর ভিত্তিস্থানের বিস্তারিত ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষায় নিম্নলিখিত বিষয়গুলি বিশেষ স্থান পায় যথা—

(a) বাঁধ নির্মাণের কল্পিত স্থানের শিলাসংস্তর বা মৃত্তিকা যদি কঠিন না হইয়া নিকৃষ্ট মানের হয়, সেই স্থলে উহার ভিত্তিস্থানের সহিত বাঁধন দৃঢ় হওয়া সম্ভব কি না ও সংযোগস্থল দিয়া জলক্ষরণ (Seepage) নিয়ন্ত্রণ করা সুবিধাজনক হইবে কি না এবং এই সকল সমস্যার সমাধান কল্পে কি প্রকারের উপযুক্ত ব্যবস্থা অবলম্বন করিতে হইবে তাহার নির্দেশ ;

(b) যদি ভিত্তিস্থানে এমন প্রস্তর বা মৃত্তিকা থাকে যাহার স্থিতিশীলতা সম্বন্ধে সন্দেহ বিদ্যমান বা যাহার (যেমন bentonite) জলের সংস্পর্শে ফুলিয়া উঠিবার আশঙ্কা থাকে, সেই সকল ক্ষেত্রে বাঁধের নিরাপত্তা সম্বন্ধে উপযুক্ত বিশ্লেষণ ;

(c) যদি ভিত্তিস্থানে মোটা Clay সংস্তর (Bed) থাকে এবং ভারের চাপে উহার বসিয়া যাওয়ার প্রবণতা থাকে, সে স্থলে বাঁধের দুই পাশের ঢাল কতটা কম করিলে বাঁধের ওজনজনিত চাপ ভিত্তিস্থানের বিস্তৃত এলাকায় ছড়াইয়া পড়িবে ও নিরাপত্তা অটুট থাকিবে সেই বিষয়ে বিস্তারিত অনুসন্ধান ;

(d) যদি অনন্যোপায় হইয়া পলিমাটি জাতীয় মৃত্তিকার উপর earth dam-এর ভিত্তিস্থাপন করিতে হয়, সেক্ষেত্রে ঐ স্থানে ভূনিম্নে প্রবেশ্য (Permeable) শিলাস্তরের বিস্তার ও সম্ভাব্য জলক্ষরণের দিক নির্ণয় ;

(e) জলক্ষরণের পথ (Piping) রোধকল্পে masonry dam-এর ক্ষেত্রে যেরূপ cut-off wall গঠন করা হয়, earth dam-এর ক্ষেত্রেও সেইরূপ গঠনের বিশেষ প্রয়োজন এবং এই গঠনের জন্য ভিত্তিনিম্নে কিরূপ স্তরে খাত (Trench) করা যুক্তিযুক্ত হইবে সেই বিষয়ে নির্দেশ ;

(f) বাঁধ নির্মাণের উপাদানের (Borrow materials) প্রাপ্তিস্থান ও তাহাদের গুণাগুণ এবং সক্ষমতা সম্বন্ধে অনুসন্ধান এবং ব্যবহারের সুপারিশ।

Earth dam নির্মাণে বালু, পলিমাটি (Silt) এবং নিম্নমানের সুঘটতা (Plasticity) যুক্ত Clay-র মিশ্রণ এক অতীব উপযুক্ত নিশ্ছিদ্র উপাদান সৃষ্টি করে। এই মিশ্রিত উপাদানের যথেষ্ট পরিমাণে সংসক্তিপূর্ণ হওয়া প্রয়োজন, তবে যেন স্পঞ্জের ন্যায় বা চট্‌চটে না হয়। Borrow pit-এ এইরূপ মিশ্রিত উপাদানের প্রাকৃতিক অবস্থান বিরল। সুতরাং borrow pit-কে বিভিন্ন প্রকারের পদার্থের অবস্থানুযায়ী বিভিন্ন অংশে ভাগ করা হয়। তবে borrow pit-এ ভূপৃষ্ঠ হইতে অন্ততঃ আট মিটার অবধি উপরোক্ত উপাদানসমূহের প্রাপ্তি সম্ভাবনা থাকা আবশ্যক। Borrow pit-এ ভূজলের উপস্থিতি অবাঞ্ছনীয় এবং উপাদানসমূহ আহরণের জন্য যেন অতিমাত্রায় অপ্রয়োজনীয় আবরণের অপসারণের আবশ্যক না হয়। বাঁধের নির্মাণ স্থান হইতে borrow pit-এর দূরত্ব কম হওয়া এবং পরিবহণের সুবিধা থাকা খুবই বাঞ্ছনীয়।

ROCK-FILL DAM

যে সকল জায়গায় কংক্রীটের (masonry) বাঁধ নির্মাণ খুবই ব্যয়সাধ্য অথবা ঐ প্রকার বাঁধের উপযুক্ত ভিত্তিস্থান দুর্লভ, এবং hydraulic-fill বা rolled type earth dam নির্মাণের উপযুক্ত মৃত্তিকা উপাদানও যথেষ্ট পরিমাণে পাওয়া কঠিন এবং প্রায়ই ভূকম্পনজাতীয় প্রাকৃতিক সঙ্কট দেখা দেয়, সেরূপ স্থলে উপযুক্ত মানের প্রস্তর সহজপ্রাপ্য হইলে rock-fill dam নির্মাণ সুবিধাজনক এবং নির্মাণের ব্যয়ভারও অল্প হয়। আমেরিকার California-য় প্রায়ই ভূমিকম্প হয় এবং সেই কারণে এই প্রদেশে rock-fill dam-এর সংখ্যা খুব বেশী। তবে এই প্রকার বাঁধের সংখ্যা earth dam-এর সংখ্যার অপেক্ষা অনেক কম।

ROCK-FILL DAM-এর শ্রেণীভাগ—Masonry ও Earth Dam-এর ন্যায় Rock-fill Damও নির্মাণ প্রণালীর তারতম্য হেতু বিভিন্ন শ্রেণীতে বিভক্ত। সাধারণত: ইহা তিন শ্রেণীর হয়।

(i) প্রথম শ্রেণীর বাঁধের কেন্দ্রস্থলে শিথিল প্রস্তরখণ্ডসমূহ জমা করা হয় এবং ইহাই বাঁধের মূল অংশ। জলাধারের জলরাশির চাপ বাঁধের এই অংশই প্রতিহত করে;

(ii) দ্বিতীয় শ্রেণীর বাঁধের upstream দিকের ঢালু অংশে কংক্রীটের নিশ্ছিদ্র আবরণ দেওয়া হয়। এই আবরণ কাঠের বা ইস্পাত নির্মিতও হয়;

(iii) তৃতীয় শ্রেণীর বাঁধের ক্ষেত্রে বাঁধের কেন্দ্রস্থল ও দ্বিতীয় শ্রেণীতে বর্ণিত বাহিরের আবরণীর মধ্যস্থলে ভাঙ্গা টুকরা পাথরের গাঁথনি করা হয় যাহা একটি মধ্যবর্তী আচ্ছাদনের কাজ করে এবং কেন্দ্রস্থল ও বহি-ভাগের মধ্যে কোনরূপ চ্যুতির সম্ভাবনা প্রতিরোধ করে। California-র Bear River Dam ইহার উদাহরণ। Rock-fill dam-এর ঢালু অংশের অনুপাত সাধারণত: 2·5 : 1 অথবা 3 : 1 হয়। তবে বর্তমানকালে ঐ অনুপাত 1·3 : 1 অথবা 1·4 : 1 অবধি করা হয়। এই প্রকার বাঁধের কেন্দ্রস্থল নির্মাণের জন্য যতদূর সম্ভব কঠিন ও অক্ষত অবস্থার প্রস্তরখণ্ড বাঞ্ছনীয়। এই সকল প্রস্তরখণ্ড বৃহদাকারের যথা তিন হইতে পঁচিশ টন (Ton) অবধি ওজনের হইয়া থাকে। যে সকল প্রস্তর জলের সংস্পর্শে নরম হইয়া পড়ে অথবা সত্বর বিশরিত হওয়ার প্রবণতা দেখায়, সেইজাতীয় প্রস্তর এই প্রকার বাঁধ নির্মাণের কার্য্যে একান্ত বর্জনীয়।

ইহা ছাড়াও যে সকল প্রস্তর নড়াচড়ায় অথবা নিকটে কোন বিস্ফোরণ ঘটিলে সহজেই ভাঙিয়া পড়ে এইরূপ প্রস্তরসমূহও rock-fill এর জন্য অনুপযুক্ত। তবে বাঁধের ঢালু অংশে যে কংক্রীটের নিশ্ছিদ্র আবরণ গাথা হয় তাহার আপেক্ষিক অনমনীয়তার জন্য বিপর্য্যয়ের সৃষ্টি করিতে পারে। কারণ কেন্দ্রস্থলের মূল অংশের প্রস্তরখণ্ডসমূহ সুসংবদ্ধ হইলে পর উপরের কংক্রীটের নিশ্ছিদ্র আবরণীর সহিত ইহা কিঞ্চিৎ বিচ্ছিন্ন হইয়া পড়ে। ফলে ঐ কংক্রীটের আবরণী অবলম্বনহীন হইয়া পড়ায় উহাতে ফাটল দেখা দেয় এবং অতীব জলক্ষরণের আশঙ্কা থাকে। তবে এই upstream-এর দিকে নিশ্ছিদ্র আবরণী দেওয়ার একটি বিশেষ সুবিধা এই যে rock-fill dam নির্মাণকালে বা পরবর্তী সময়ে হঠাৎ বন্যাজনিত অতিরিক্ত জলরাশি বাঁধকে উপ্‌চাইয়া পড়িলেও উহার স্খলন হয় না। কয়েকটি rock-fill dam-এর ক্ষেত্রে নিশ্ছিদ্র মাটির দ্বারা upstream দিকের আবরণী নির্মাণ এবং উহাকে দৃঢ় সংবদ্ধ করিয়া জলাধারের দিকে ঢাল বিশিষ্ট করা হইয়াছে। এইরূপে নির্মিত আবরণীর ক্ষেত্রে বাঁধের মূল অংশ ও ভিত্তিস্থানের ক্রমশঃ সংবদ্ধ হওয়া কালে কোনরূপ ফাটল দেখা দেয় না। উপরন্তু ঐ নিশ্ছিদ্র আবরণী সাধারণতঃ বহুদিন অক্ষত অবস্থায় থাকে, কিন্তু কংক্রীটের আবরণীর মধ্যে মধ্যে মেরামতের প্রয়োজন দেখা দেয়। Rock-fill dam-এর আংশিক বা সম্পূর্ণ স্খলনের কয়েকটি দৃষ্টান্ত আছে। কংক্রীটের core wall-এ ফাট্‌ধরার জন্য Africa-র Oned Kebir Dam-এর ; বাঁধের জল উপ্‌চাইয়া পড়ার জন্য California-র Lower Otay Dam-এর ; বাঁধের নির্মাণকালে জল নিষ্কাশনের অনুপযুক্ত ব্যবস্থার জন্য California-র San Gabriel Dam (No. 2)-এর ; এবং জলাধারে তরঙ্গ উচ্ছ্বসিত জলের আঘাতে আমেরিকার Idaho-র Minidoka Dam-এর স্খলন হয়।

সকল প্রকার বাঁধ নির্মাণের সহিত সংশ্লিষ্ট বিষয়গুলি এই অধ্যায়ে বিশদরূপে আলোচিত হইল। তবে ইহা জানা দরকার যে ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান কার্যসূচী পূর্ববর্ণিত ধারাগুলির মধ্যে অটুটভাবে নিবদ্ধ রাখা সম্ভব নহে। কারণ কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ কোন বাঁধ নির্মাণের প্রকল্পে তাঁহার অনুসন্ধানকার্য্যে নীতিগতভাবে কিছুদূর অগ্রসর হইবার পর যে সকল সমস্যার সম্মুখীন হন, সেই সকলের সমাধানকল্পে তাঁহার অনুসন্ধানের পদ্ধতি ও পরিমাণ পরিবর্তন করা বিশেষ প্রয়োজনীয় হয়। ইহা কোনমতেই তাঁহার অপটুতার প্রমাণ নহে। তবে কেবল যথেষ্ট

পরিমাণে অনুসন্ধান কার্য্য সম্পন্ন করিলেই ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের দায়িত্বের সমাপ্তি হয় না। ঐ সকল অনুসন্ধানের ফলাফলের তুলনামূলক বিশ্লেষণ এমনভাবে লিপিবদ্ধ করা প্রয়োজন যাহাতে উহা সহজে ইঞ্জিনীয়ারদের বোধগম্য হয় এবং বাঁধের নির্মাণকালে ঐ সকল নির্দেশ কার্য্যকরী করা যায়। বর্তমানকালে বাঁধ নির্মাণের design সম্বন্ধে বহুবিধ গবেষণা চালাইবার পর দেখা গেছে যে ব্যয় সঙ্কোচের কোন প্রশ্ন না থাকিলে ভূপৃষ্ঠে খুব অল্প স্থানই আছে যেখানে বাঁধ নির্মাণ ও তাহার স্থিতিশীলতা সম্ভব নহে। ত্রুটীবিহীন ভূতাত্ত্বিক অবস্থায় ব্যয়ের অঙ্ক কম হয়, অন্যথায় ইহা অতিশয় বৃদ্ধি পায় তবে বাঁধ নির্মাণ সফল করা সম্ভব হয়।

সপ্তম অধ্যায়

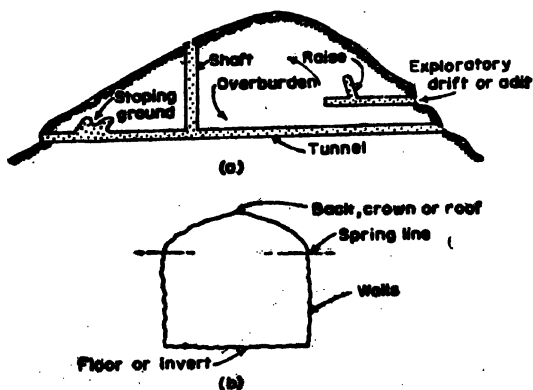
সুড়ঙ্গ

সুড়ঙ্গ নির্মাণের পরিকল্পনায় কারিগরী ভূবিদ্যার ভূমিকা

রেলপথ, রাজপথ ও বাঁধ নির্মাণে সুড়ঙ্গের প্রয়োজনীয়তা সম্বন্ধে ইতিপূর্বে দ্বিতীয় অধ্যায়ে আলোচনা করা হইয়াছে। ইহা ছাড়াও সেতুর পরিবর্তে সুড়ঙ্গের সাহায্যে নদী পারাপার করার কথা এবং পানীয় জল সরবরাহ ও ময়লা জল নিষ্কাশনে সুড়ঙ্গের সহায়তার কথা বর্ণিত হইয়াছে। জলবিদ্যুৎ শক্তির উৎপাদনেও সুড়ঙ্গ একটি বিশেষ স্থান অধিকার করে। অবশ্য খনি বিদ্যায় সুড়ঙ্গের নির্মাণ অতি প্রাচীনকাল হইতে সম্পাদিত হইয়া আসিতেছে। পৃথক পৃথক প্রয়োজনবোধে বিভিন্ন প্রকারের সুড়ঙ্গ নির্মাণ করা হয় এবং তাহাদের পৃথক নামকরণ করা হয়। এই বিষয়ে সবিশেষ আলোচনার পূর্বে সুড়ঙ্গ সম্পর্কিত কয়েকটি বিশেষ জ্ঞাতব্য আখ্যার আলোচনা করা হইতেছে। অবশ্য প্রথমে ইঞ্জিনীয়ারগণ খনিজবিদ্যা হইতে সুড়ঙ্গের বিষয়ে ব্যবহৃত আখ্যাগুলি গ্রহণ করেন। পরে ক্রমশঃ এইগুলির রূপান্তর করা হইয়াছে। যদিও একই রূপান্তরিত আখ্যাগুলি ইঞ্জিনীয়ারিং বিদ্যায় ও কারিগরী ভূবিদ্যায় ব্যবহৃত হয়, তথাপি এই দুই প্রযুক্তিবিদ্যায় সুড়ঙ্গ বিষয়ক কয়েকটি আখ্যার কিছু পৃথকীকরণ হইয়াছে। যেমন ইঞ্জিনীয়ারের কাছে সুড়ঙ্গের অথবা যে কোন ভূনিম্নস্থ গঠনের অবঘাত (overburden) বলিতে ঐ সকল গঠনের উপরিস্থ (overlying) যে কোন অবস্থার অর্থাৎ সুসংবদ্ধ (consolidated) অথবা শিথিল বস্তুকে বুঝায়, কিন্তু ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ এইরূপ অবঘাতকে সাধারণতঃ অসংবদ্ধ (unconsolidated) মৃত্তিকাজাতীয় বস্তু বলিয়া বিবেচনা করেন। আর একটি উদাহরণস্বরূপ সুসংবদ্ধ অবক্ষেপের (Deposit) ব্যাখ্যার কথা বলা যাইতে পারে। ইঞ্জিনীয়ারগণের ভাষায় clay যখন বাহ্যিক চাপের প্রভাবে সাম্যাবস্থায় (Equilibrium) উপনীত হইয়াছে তখন তাহাকে consolidated clay বলা যাইতে পারে। কিন্তু ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের ভাষায় clay যখন শেল (shale) জাতীয় অপেক্ষাকৃত কঠিন প্রস্তরে

পরিণত হইয়াছে, তখনই তাহাকে consolidated clay-র, আখ্যা দেওয়া উচিৎ।

সুড়ঙ্গের বর্ণনায় বিভিন্ন আখ্যা—সুড়ঙ্গ সাধারণতঃ অনুভূমিক অথবা ঈষৎ ঢালু অবস্থায় খনন করা হয় এবং ইহার দুই মুখই খোলা থাকে। কিন্তু drift বা adit যদিও সুড়ঙ্গেরই একপ্রকার নামান্তর, তথাপি ইহার গঠনের তফাৎ এই যে ইহার একদিকের মুখ কেবল খোলা থাকে। এইরূপ খননকার্য্য সাধারণতঃ বাঁধ নির্মাণকালে পর্বত গাত্রে করিয়া ঐ স্থানের ভূতাত্ত্বিক অবস্থা এবং বাঁধের ঠেস রাখিবার সক্ষমতা সম্বন্ধে সমীক্ষা করা হয়। তবে খননকার্য্য যদি উর্দ্ধাধদিকে করা হয় এবং তাহার খোলা মুখ কেবলমাত্র শীর্ষস্থানে থাকে, সেইরূপ গর্ত্তকে shaft বলে এবং ইহা খনি উদ্‌ঘাটনে বিশেষ সহায়ক হয়। বাঁধের জল নিষ্কাশনে (spilling) এবং জলবিদ্যুৎশক্তির উৎপাদনেও shaft-এর ব্যবহার হইয়া থাকে। খনিজ পদার্থের পাতালিক অনুসন্ধান-কার্য্যে এবং আহরণে খনিমধ্যে tunnel বা drift হইতে উপরদিকে আনত (Inclined) অবস্থায় খনন করা স্থানকে stope বা raise বলা হয়। সুড়ঙ্গ নির্মাণের জন্য খননকালে উহার ছাদের দিক হইতে প্রস্তরসমূহ ভাঙ্গিয়া পড়িতে থাকে এবং এই অবস্থার সৃষ্টি হইলে উহাকে সুড়ঙ্গের ছাদের উপরদিকে stoping হইতেছে বলিয়া আখ্যায়িত করা হয়। নিম্নের চিত্র দুইটি হইতে প্রধান terms-গুলি সহজে বোধগম্য হইবে।

Fig. 16

Tunnel terminology

সুড়ঙ্গ নির্মাণে কতকগুলি সাধারণ আখ্যার ব্যবহার হয় যথা—যে স্থানের মধ্য দিয়া সুড়ঙ্গ কাটা হয় তাহাকে Ground বলে এবং খনন দ্বারা যে সকল বস্তু সঞ্চিত হয় তাহাকে Muck অথবা Tailings বলিয়া বুঝান হয়। অপেক্ষাকৃত নরম জমিতে সুড়ঙ্গ খননকালে বৃহদাকারের চাঙড় ভাঙিয়া পড়িতে থাকে, তবে এই ঘটনা মধ্যে মধ্যে ঘটে এবং এইরূপ জমিকে Raveling ground বলা হয়। খননকালে যদি শিথিল উর্থোপল বা মোটা বালু উপর হইতে অনবরত পড়িতে থাকে, সেইরূপ জমিকে Running ground আখ্যা দেওয়া হয়। জমি যদি ভিজা থাকে তাহা হইলে অনেক সময়ে খননকালে মৃত্তিকাসমূহ মণ্ডবৎ যে কোন ফাঁক দিয়া সুড়ঙ্গের মধ্যে প্রবেশ করে এবং ইহাকে Flowing ground বলা হয়। কয়েকক্ষেত্রে খননকালে বায়ুমণ্ডলের আর্দ্রতাজনিত তলদেশের মাটি ফুলিয়া উঠিয়া সুড়ঙ্গের মধ্যে ছোট ছোট ঢিপির আকার ধারণ করে এবং এইরূপ জমি Swelling ground নামে পরিচিত হয়। প্রস্তরময় কঠিন জমিতে সুড়ঙ্গ কাটিবার সময়ে ছাদে কোনরূপ ঠেস না দিয়া বিনা-বাধায় অগ্রসর হইতে পারিলে ঐরূপ স্থানকে Firm ground অথবা Intact ground নামে অভিহিত করা হয়। এই সকল আখ্যা (Terms) ছাড়াও আরও বহু আত্মনির্দেশক আখ্যা সুড়ঙ্গ নির্মাণের ব্যাপারে প্রচলিত আছে।

সুড়ঙ্গ নির্মাণে ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষা

এক্ষণে বিভিন্ন প্রয়োজনভিত্তিক সুড়ঙ্গ নির্মাণে কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের সমীক্ষা সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা করা হইতেছে। অধিকাংশ ক্ষেত্রে ইঞ্জিনীয়ারগণ ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষার পূর্বেই সুড়ঙ্গের স্থান, দিক (Alignment), ভিতরের মাপ এবং তির্যকচ্ছেদ (cross section) স্থির করেন। তবে সাধারণতঃ এই সকল ব্যবস্থা সহরের মধ্যে ব্যবহারের জন্য অথবা রেলপথ ও রাজপথের সহিত জড়িত সুড়ঙ্গ সমূহের ক্ষেত্রেই লওয়া হইয়া থাকে। এমন কি জলবাহী সুড়ঙ্গের নির্মাণকল্পেও জলের গতিবিজ্ঞানানুযায়ী সুড়ঙ্গের মাপ ও আকার সম্বন্ধে পরিকল্পনা পূর্বেই করা হয়ে থাকে। তবে বহুসময়ে প্রাথমিক ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানে ঐ পূর্ব স্থিরীকৃত স্থান অনুপযুক্ত বিবেচিত হইলে নূতন স্থান নির্ণয়ের প্রয়োজন হয়।

ইঞ্জিনীয়ারগণ সুড়ঙ্গের design প্রস্তুতের জন্য উহার মধ্যবর্তী স্থান

(Centre line) বরাবর ভূতাত্ত্বিক প্রতিমূর্তির (Profile) সাহায্য লইয়া থাকেন এবং ইহা তাঁহাদের কাছে প্রধান নির্দর্শন পত্র। কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের উপর এই ভূতাত্ত্বিক প্রতিমূর্তি প্রণয়নের দায়িত্ব আরোপ করা হয় এবং তাঁহার সমীক্ষালব্ধ ফলাফলের দ্বারা যে প্রতিমূর্তি প্রস্তুত করা হয় তাহাতে ঐ সুড়ঙ্গের মধ্যবর্তী স্থানের আশেপাশে কি প্রকারের প্রস্তর ও মৃত্তিকা আছে এবং তাহাদের পরস্পরের সংযোগ (contact) কিরূপ ধরণের, শিলান্তরসমূহের অনুদৈর্ঘ্য (Strike) ও নতি (Dip) এবং কোন-রূপ ভূতাত্ত্বিক ত্রুটী আছে কি না এই সকল তথ্য প্রকাশ করা হয়। ঐ স্থলের আকাশ-চিত্র (Air Photo) প্রস্তুত থাকিলে উহা হইতে শিলা-সংস্তরের প্রধান প্রধান চ্যুতি (Fault) ও সন্ধি (Joint) সমূহ অতি সহজে নির্দেশ করা সম্ভব হয়। ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ তাঁহার অনুসন্ধানকালে ঐ সুড়ঙ্গের নির্দেশিত স্থানে জলপীঠের (Water table) লেভেলের বিষয়েও সমীক্ষা করেন এবং নিকটেই কোন জলপ্রস্রবণ আছে কি না সে সম্বন্ধেও খোঁজ করেন। তাঁহার ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানের দ্বারা ঐ স্থানে ভূপৃষ্ঠের একটি ভূতাত্ত্বিক মানচিত্র প্রস্তুত করা বিশেষ প্রয়োজন এবং ঐ মানচিত্রে উপরোক্ত তথ্যগুলি অবশ্যই দেখান দরকার। ভূপৃষ্ঠের মানচিত্রে দর্শিত এই ভূতাত্ত্বিক তথ্যগুলির সুড়ঙ্গের লেভেলে প্রক্ষেপ (Projection) কতদূর নির্ভুল হইবে উহা ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের দক্ষতার উপর নির্ভর করে। পাললিক শিলাময় স্থানে যদি স্তরগুলি ভাঁজ (Fold) ও চ্যুতি (Fault) দ্বারা বিশেষভাবে বিকৃত না হইয়া থাকে, তাহা হইলে উহাদের প্রক্ষেপ অনেকটা নির্ভুলভাবে করা সম্ভব হয়। কিন্তু যে স্থানে আগ্নেয় বা রূপান্তরিত শিলা বিদ্যমান সেক্ষেত্রে এই প্রক্ষেপ খুবই কষ্টসাধ্য এবং নির্ভুল হওয়া কঠিন কারণ এই সকল শিলাগঠনসমূহের একের অপরের সহিত সংযোগ স্থানগুলি সাধারণতঃ বিধিবহির্ভূত হয় এবং ভাঁজ ও চ্যুতিগুলির পাতালিক (Subsurface) নিদর্শনসমূহ খুবই অস্পষ্ট থাকে। ইহাদের নির্ভুল প্রক্ষেপের জন্য যথেষ্ট পরিমাণে পাতালিক অনুসন্ধান করা প্রয়োজন হয়।

সুড়ঙ্গ নির্মাণের জন্য পাতালিক অনুসন্ধান পদ্ধতি—বাঁধ নির্মাণের জন্য যে সকল পাতালিক অনুসন্ধান গর্ত, পরিখা ও drift খনন, ভূছিদ্রকরণ ইত্যাদির সাহায্যে করা হয়, সুড়ঙ্গের ক্ষেত্রেও ঐ সকল উপায়-গুলি প্রয়োজ্য হয়। ব্যয়সাধ্য হইলে অনুসন্ধানকল্পে ভূছিদ্রগুলি অন্ততঃ invert লেভেল ও আরও কিছু নীচে অবধি করা বাঞ্ছনীয়। বিশেষতঃ

যদি প্রস্তাবিত সুড়ঙ্গের স্থানের জমি অপেক্ষাকৃত নরম হয়, সেস্থলে সুড়ঙ্গের প্রবেশ দ্বারের শীর্ষস্থানীয় (Portal) খিলান গঠন এবং তলদেশের (Floor or invert) ভিত্তিস্থাপনহেতু উপযুক্ত তথ্য সংগ্রহ করিতে ভূছিদ্রকরণ আরও গভীর করা উচিৎ। যদি যানবাহন চলাচলের সুবিধার জন্য সুড়ঙ্গের প্রস্থ ও খাড়াই অপেক্ষাকৃত বেশী করিবার প্রয়োজন থাকে এবং ঐ স্থানের ভূতাত্ত্বিক অবস্থা বিশেষ সুবিধাজনক না হয়, সেরূপ স্থলে মানুষ প্রবেশ করিতে ও সহজভাবে দাঁড়াইয়া কাজ করিতে পারে এরূপ মাপের পরীক্ষামূলক (Pilot or test) drift প্রস্তুত করিয়া মূল সুড়ঙ্গের জন্য প্রয়োজনীয় পাতালিক অনুসন্ধান করা বিধেয়। অবস্থা বিশেষে drift-এর ছাদকে কাঠের খুঁটির দ্বারা ঠেস দেওয়া হয় যাহাতে অনুসন্ধানকালে নিরাপত্তার বিঘ্ন না ঘটে।

যদি সুড়ঙ্গ নির্মাণের কল্পিত স্থানে অবঘাতের পরিমাণ খুব বেশী হয় এবং জায়গাটি ঘন গাছপালা দ্বারা আচ্ছাদিত থাকে, সেরূপ ক্ষেত্রে ভূপদার্থিক অনুসন্ধান সুবিধাজনক হয়। এই পদ্ধতিতে লুক্কায়িত ভঙ্গ, চ্যুতি এবং অন্যান্য ভূতাত্ত্বিক ত্রুটীসমূহের ও জলবাহী স্তরগুলির উপস্থিতি জানা যায়। তাহা ছাড়া বিভিন্ন শিলাস্তরগুলির সংযোগস্থলগুলিও গোচরীভূত হয়। বাস্তবক্ষেত্রে ভূপদার্থিক পদ্ধতির দ্বারা ভূনিম্নে প্রধান চ্যুতি এবং বিদারগুলির (Fissure) উপস্থিতি এবং বিস্তার সম্বন্ধে সঠিক হিসাব পাওয়া যায়। যে সকল স্থানে পাদশীলা (Bed rock) খুব পুরু মৃত্তিকা দ্বারা আচ্ছাদিত, সেরূপস্থলে উহার বেধ (Depth) নির্ণয় এবং বিশেষ কোন শিলাসংস্তরের উপস্থিতি ও সুড়ঙ্গের তলদেশের সহিত উহার সংযোগের সম্ভাব্যতা এই পদ্ধতিতে নিরূপণ করা হয়। চ্যুতি অথবা বিদারের উপস্থিতি এবং বিস্তার ও কল্পিত সুড়ঙ্গের দিকের সহিত উহারা সমান্তরাল কি না এই সকল তথ্য Resistivity method-এর দ্বারা সঠিক জানা যায়। ফলে সুড়ঙ্গের design প্রস্তুতকালে এই সকল লব্ধ তথ্য বিশেষ সহায়ক হয়। তবে পাদশীলার বেধ নির্ণয়ে seismic method-এর ব্যবহার দ্বারা খুব সুফল পাওয়া যায়।

ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের রিপোর্টে কল্পিত সুড়ঙ্গের স্থানে আহরিত তথ্যগুলি এমনভাবে লিপিবদ্ধ করা উচিৎ যাহাতে ঐ সুড়ঙ্গের design প্রস্তুত এবং নির্মাণকালে ঐ সকল তথ্যগুলি ইঞ্জিনীয়ারদের সহজে বোধগম্য হয় এবং কার্য্যকালে সহায়ক হয়। সুড়ঙ্গের design প্রস্তুত হইলে পর ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ উহার বিশ্লেষণ করেন এবং তাঁহার প্রাথমিক ভূতাত্ত্বিক

সমীক্ষার ফলাফল হইতে ঐ সুড়ঙ্গের নির্মাণ স্থানের জমি যথোচিত শক্ত কি না, সুড়ঙ্গ কাটা সহজসাধ্য হইবে কি না এবং এই কাজে কোন বিস্ফোরণের প্রয়োজন হইবে কি না, নির্মাণকালে কোন কোন অংশে নিরাপত্তার জন্য ঠেসের প্রয়োজন হইবে এবং তাহা কি প্রকারের হওয়া বাঞ্ছনীয় এই সকল বিষয়ে মতামত প্রকাশ করেন। ইহা ছাড়াও সুড়ঙ্গ নির্মাণকালে উহার কোন অংশে ভূস্খলনজনিত বিপত্তির সম্ভাবনা আছে কি না এবং থাকিলে তাহার পরিমাণ কিরূপ হইতে পারে তাহাও বিশেষজ্ঞকে লিপিবদ্ধ করিতে হয়। তবে এই সকল অত্যাবশ্যক প্রশ্নের যথোচিত মীমাংসা প্রাথমিক ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষার দ্বারা সম্ভবপর নহে।

যে কোন কঠিন প্রস্তরময় জমিতে সুড়ঙ্গ কাটা সুবিধাজনক হয় এবং সাধারণতঃ কোনরূপ ঠেসের প্রয়োজন হয় না। জমির কাঠিন্য হ্রাস পাইলে খনন কার্য্যের কিছুটা সুবিধা হয় বটে, কিন্তু উহার স্থিতিশীলতার মান কমিয়া যায়। শেল (Shale), Clay ইত্যাদি প্রস্তরময় জমিতে এইরূপ অবস্থার সৃষ্টি হয়। সুড়ঙ্গ নির্মাণের কল্পিত-স্থানের উপরের দিকে যদি aquifer থাকে এবং ঐ স্থানের প্রস্তরসমূহ বিপার্য্যপূর্ণ হয়, সেরূপ ক্ষেত্রে সুড়ঙ্গের মধ্যে জলপ্রবাহের আশঙ্কা থাকে। ফলে সুড়ঙ্গের নির্মাণকালে উহার ছাদ হইতে বেশী পরিমাণে প্রস্তর ও মৃত্তিকার চাপড় খসিয়া পড়িবার সম্ভাবনা দেখা দেয়। সুতরাং সুড়ঙ্গের নির্মাণের প্রাক্কালে এই সকল সম্ভাব্য বিপত্তি সম্বন্ধে সম্পূর্ণ জ্ঞান আহরণ করা বাঞ্ছনীয়। সুড়ঙ্গের alignment-এর মধ্যে উল্লেখযোগ্য সন্ধি ও চ্যুতি থাকিলে উহার নির্মাণকালে ছাদের দিক হইতে ধ্বস নামা খুব স্বাভাবিক। বিশেষতঃ যদি এই সকল তাত্ত্বিক ত্রুটীর জন্য পৃথক Block সৃষ্টি হইয়া থাকে, সেক্ষেত্রে ঐ সকল Block-এর মধ্যে সংযোগস্থল মসৃণ ও পিচ্ছিল হয় এবং ফলে সুড়ঙ্গের নির্মাণকালে নানারূপ বিঘ্ন সৃষ্টি করে।

ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের রিপোর্টে উপরোক্ত গুরুত্বপূর্ণ বিষয়গুলির অনুসন্ধানের ফলাফল ও সেইগুলির সম্যক বিশ্লেষণ ব্যতিরেকেও কল্পিত সুড়ঙ্গের নির্মাণকল্পে মালমশলা ও যন্ত্রপাতির সরবরাহের সুবিধার এবং যোগাযোগ ব্যবস্থা সম্বন্ধেও যথোচিত আভাস দেওয়া কর্তব্য। সুড়ঙ্গের আস্তর (Lining) নির্মাণের প্রয়োজনীয় কংক্রীটের উপাদানসমূহের নিকটস্থ উৎসের সন্ধানও এই রিপোর্টে থাকা বিশেষ দরকার। সুড়ঙ্গের কল্পিত

alignment-এর ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানকালে ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ দায়িত্ব আছে যথা সুড়ঙ্গের খননকালে উহার উপরিস্থ ভূপৃষ্ঠে অবস্থিত ইমারত ও অন্যান্য গঠনগুলি বসিয়া যাইবে কি না এবং কূপ বা জলাধার হইতে জল সরবরাহের বিঘ্ন ঘটিবে কি না সেই বিষয়ে সমীক্ষা করিয়া মতামত প্রকাশ করা। কারণ এইরূপ বিপত্তি ও অসুবিধার সম্ভাবনা থাকিলে কল্পিত alignment-এর রদবদল করা অতিশয় প্রয়োজনীয় হয়। বাস্তবক্ষেত্রে যে কোন সুড়ঙ্গ নির্মাণকল্পে ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের প্রাথমিক সমীক্ষার রিপোর্টের উপর নির্ভর করিয়া যখন নির্মাণকার্য্য আরম্ভ হয়, তখন হইতে এবং নির্মাণ কার্য্য শেষ না হওয়া অবধি ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ এই প্রকল্পের পরামর্শদাতা হিসাবে কাজ করেন এবং খনন কার্য্য যেমন যেমন অগ্রসর হইতে থাকে, তিনি ঐ সুড়ঙ্গের মধ্যস্থিত প্রস্তর ও মৃত্তিকার প্রাকৃতিক গুণাগুণ এবং ভূতাত্ত্বিক বিশেষত্বগুলি যতদূর সম্ভব নির্ভুলভাবে লিপিবদ্ধ (Logging) করিতে থাকেন। সুড়ঙ্গের নির্মাণ শেষ হইলে ভূপৃষ্ঠে অনুসন্ধানের ফলাফল যাহা প্রাথমিক রিপোর্টে লিপিবদ্ধ করা হইয়াছিল তাহার সহিত নির্মাণকালে লব্ধ এই সকল ভূতাত্ত্বিক তথ্য-গুলির তুলনা করিয়া দেখা হয় এবং যে সকল প্রভেদ পরিলক্ষিত হয় তাহাদের উপযুক্ত ব্যাখ্যা করা হয়। সুড়ঙ্গ নির্মাণকালে আহরিত তথ্য-ের log ইঞ্জিনীয়ার ও ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের উভয়ের কাছেই অতি প্রয়োজনীয় এবং গুরুত্বপূর্ণ স্থান অধিকার করে। কারণ ভবিষ্যতে ঐ সুড়ঙ্গের মেরামতকল্পে বহু আবশ্যকীয় তথ্য ঐ log হইতে পাওয়া সম্ভব হয় এবং অনুরূপ পরিস্থিতিতে অন্য কোন স্থানে সুড়ঙ্গ নির্মাণের কাজে যথেষ্ট সহায়তা করে।

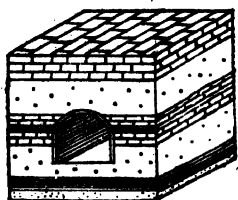
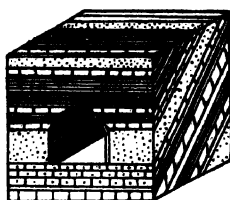
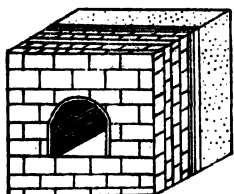
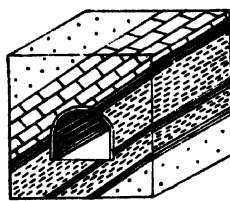
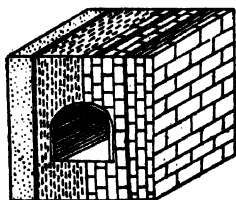
সুড়ঙ্গ নির্মাণে নানাবিধ সমস্যা

এক্ষণে বিভিন্ন প্রকারের জমিতে যথা কঠিন প্রস্তরময় স্থানে এবং নরম মৃত্তিকাবহুল জায়গায় সুড়ঙ্গ নির্মাণের নানারূপ সুবিধা ও বিপত্তির তুলনামূলক পর্য্যালোচনা করা হইতেছে। প্রাকৃতিক নিয়মানুযায়ী শিলা-সংস্তরের বেধ যতই বেশী হয়, ভূনিম্নে যে কোন নির্ধারিত স্থানে ঐ শিলা-সংস্তরে উপরিস্থ শিলার ওজনজনিত চাপ ততই বৃদ্ধি পায়। এই চাপের পীড়নে (stress) প্রকৃতিগত টানের (strain) সঞ্চার হয় ও তাহার ফলে শিলাসংস্তরের অংশ সমূহের ছিটকাইয়া যাওয়ার প্রবণতা দেখা দেয়। কিন্তু এই শিলাসংস্তর যদি চারিপার্শ্বে অবরুদ্ধ অবস্থায় থাকে, তাহা

হইলে ঐ শিলাসংস্তরের উপরে পীড়নের প্রভাব সঞ্চিত থাকে এবং উহাকে residual stress আখ্যা দেওয়া হয়। এইরূপ অবস্থায় ঐ শিলাসংস্তরের নামমাত্র স্থানচ্যুতি ঘটিতে পারে। তবে পারিপার্শ্বিক অবস্থার একটু শিথিলতা পাইলেই এই পীড়নজনিত গতি প্রবণতা কার্য্যকরী হইয়া উঠে এবং প্রস্তর সমূহের স্থানচ্যুতি ঘটে। এই স্থানচ্যুতির মাত্রা পীড়নের মাত্রার সহিত অনবদ্ধ হইলেও শিলাসংস্তরের স্থানচ্যুতির পরিমাণ হঠাৎ খুব বেশী হয় না। যদিও এই নীতি বাস্তবক্ষেত্রে বিধিবদ্ধ নহে কারণ ভূপৃষ্ঠের বেশ কিছু নীচে সুড়ঙ্গ খননকালে পার্শ্ববর্তী শিলাসমূহ স্থানচ্যুত হইয়া অধুনা খনন জনিত শূন্যস্থানে ভাঙ্গিয়া পড়ে এবং এই প্রকৃতিগত ব্যবস্থার দ্বারা ঐ শূন্যস্থানে পূর্বে অবরুদ্ধ শিলাসংস্তরের উপর পীড়নের লাঘব ঘটে। অতি গভীর খনি সমূহের মধ্যে যে সকল সুড়ঙ্গ কাটা হয়, সেগুলির মধ্যে পারিপার্শ্বিক শিলাসংস্তর এত অধিক পীড়নের চাপে থাকে যে অনেক সময়ে ঐ সুড়ঙ্গের মধ্যে বৃহদাকারের কঠিন শিলাখণ্ডসমূহ অকস্মাৎ কর্কশ শব্দযোগে সজোরে ছিটকাইয়া পড়ে ও উপস্থিত ব্যক্তি সমূহের প্রাণনাশ ঘটায় এবং অন্যান্য সম্পদের ক্ষতিসাধন করে। এই প্রাকৃতিক দুর্ঘটনাকে rock burst আখ্যা দেওয়া হয়। যদি সুড়ঙ্গ মধ্যে ঐ শিলাসংস্তর পট্টযুক্ত (Platy) অথবা বিদার্যতাময় (Fissile) হয়, সেক্ষেত্রে rock burst-এর পরিবর্তে ঐ সকল শিলাস্তরগুলি ধীরে ধীরে ধনুকের আকারে বাঁকিয়া পড়ে এবং ফলে ঐ সুড়ঙ্গের আশেপাশের শিলাস্তরগুলিতে বিদার ও শূন্যস্থানের সৃষ্টি হয়। এইভাবে পীড়নের লাঘব হয়। পীড়নের লাঘবের উপরোক্ত দুই প্রকারের প্রাকৃতিক পদ্ধতি ছাড়াও আরও একটি উপায়ে উহা সম্পাদিত হয়। সেই পদ্ধতিতে ঐ স্থলে হঠাৎ প্রবল ভূকম্পন হইয়া ভূতলস্থ শিলাস্তরগুলিতে বিশৃঙ্খলতা আনে এবং সুড়ঙ্গের মেঝের ব্যবধি (Heave) সৃষ্টি করে। এই ধরণের প্রাকৃতিক বিপর্যয়কে bumps বলা হয়। কখনও কখনও এইরূপ ব্যবধি সুড়ঙ্গের ছাদের দিকেও ঘটে। অনেক সময়ে আঞ্চলিক ভূমিকম্পের ফলেও সুড়ঙ্গের মধ্যে bumps দেখা দেয়। ভূনিম্নে সুড়ঙ্গ নির্মাণ বা অন্য কোনরূপ খননকার্য্য করিবার সময়ে শিলাসংস্তরের উপর residual stress না থাকিলেও ঐ খননজনিত শূন্যস্থানে পার্শ্ববর্তী স্থানের প্রস্তর সমূহ কিছুটা সরিয়া আসে এবং তৎপরে সাম্যাবস্থার সৃষ্টি হয়। এই অবস্থার প্রতিরোধকল্পে নির্মাণকালে ঠেসের ব্যবস্থা করা হয় এবং পরে আস্তর গাঁথা হয়। কখনও কখনও কঠিন পাথরে ও শক্ত clay মাটিতে

সুড়ঙ্গ কাটা বিনা ঠেসে সম্ভব হয়। তবে ইহা সুনিশ্চিত যে সুড়ঙ্গ কাটিতে থাকিলে ঐ স্থানে বর্তমান সাম্যাবস্থার প্রথমে বিনাশ ঘটে, কিন্তু পরে প্রাকৃতিক নিয়মে আত্মভারসাম্যতা হেতু যন্ত্রীচাপের (Shearing stress) সৃষ্টি হওয়ায় ঐ সুড়ঙ্গের পারিপার্শ্বিক সাম্যাবস্থার পুনর্স্থাপন সম্ভব হয় এবং এই স্বয়ংক্রিয় পদ্ধতিকে 'Arching around the tunnel' বলা হয়। এই প্রাকৃতিক arching-এর দ্বারা সুড়ঙ্গের যে নিরাপত্তা সাধিত হয় তাহার জন্য একটি মৌলিক অবস্থার উপস্থিতি একান্ত আবশ্যক। ইহা দেখা গেছে যে সুড়ঙ্গের উপরের অবঘাতের ভার বহনের জন্য যে যন্ত্রীশক্তির প্রয়োজন, তাহা ঐ অবঘাতজনিত যন্ত্রীচাপ অপেক্ষা কম না হয়। অন্যথায় কোন আস্তর গাঁথিয়া না দিলে সুড়ঙ্গের ছাদ হইতে প্রস্তর ইত্যাদি খসিয়া পড়ে। আস্তর গাঁথিয়া দিলে অবঘাতের ভারজনিত চাপ ঐ আস্তর এবং সুড়ঙ্গের পারিপার্শ্বিক যন্ত্রীশক্তির মধ্যে ভাগ হইয়া যায় এবং সাম্যাবস্থা বজায় থাকে। এই কারণে কোন সুড়ঙ্গ নির্মাণের পরিকল্পনায় ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষায় ঐ স্থানের প্রস্তরসমূহের arching এর ক্ষমতা বিষয়ে অনুসন্ধান বিশেষ স্থান পায়। ইহা সহজেই অনুমেয় যে শিলাসংস্তর বিদারপূর্ণ হইলে এই arching খুব সুবিধাজনক হয় না, কিন্তু স্থূলাকার আগ্নেয়শিলা থাকিলে এই পদ্ধতি অবলম্বনে বিশেষ সুবিধা হয়। স্তরবিশিষ্ট শিলা (Layered rock) থাকিলে সুড়ঙ্গের অক্ষপথের (Axis) সহিত ঐ স্তরগুলির কয়েকটি বিশেষ অবস্থায় এইরূপ arching সম্ভব হয়, যেমন অনুভূমিক বা অল্পনতিযুক্ত শিলাস্তরগুলির অনুদৈর্ঘ্য (strike) সুড়ঙ্গের অক্ষপথের' সহিত সমান্তরাল হওয়া প্রয়োজন অথবা যদি শিলাস্তরগুলির নতির মাত্রা খুব বেশী হয় কিংবা উহারা প্রায় উর্ধ্বাধ হয় সেক্ষেত্রে ঐ সকল স্তরগুলির অনুদৈর্ঘ্য সুড়ঙ্গের অক্ষপথের সহিত লম্বভাবে থাকা আবশ্যক। যদি স্তরবিশিষ্ট শিলা কাটিয়া সুড়ঙ্গ নির্মাণ করা হয় এবং সুড়ঙ্গে আস্তর দেওয়া হয়, সেরূপ স্থলে আস্তরের উপরে ভারজনিত চাপের বণ্টন মুখ্যত: শিলাসমূহের স্তরায়ণের (Stratification) উপর নির্ভর করে। যদি সুড়ঙ্গের নির্মাণ স্থানে শিলাস্তরগুলি উর্ধ্বভাজিক (Anticlinal) গঠনের হয় সেরূপ অবস্থায় আস্তরের উপর অবঘাতের উর্ধ্বাধ চাপ প্রশমিত হয়, কিন্তু শিলাস্তরবিন্যাস যদি অভিনত (Synclinal) রূপের হয় সেক্ষেত্রে ঐ উর্ধ্বাধ চাপের বৃদ্ধি হয়। ইহা ছাড়া যদি সুড়ঙ্গটি উর্ধ্বভাজিক ভূজলবাহী শিলাস্তর কাটিয়া গড়া হয় সেরূপ অবস্থায় সুড়ঙ্গের পাশ হইতে জল বহির্দেশে প্রবাহিত হয়, কিন্তু শিলাস্তরগুলি অভিনত অবস্থায় থাকিলে জল

বিপরীত হয় অর্থাৎ সুড়ঙ্গের ভিতরে ভূজলের প্রবাহ দেখা দেয়। নিম্নের চিত্রগুলি হইতে স্তরবিশিষ্ট শিলাসমূহের বিভিন্ন অবস্থায়, বিশেষতঃ ঐগুলি ঊর্ধ্বভাজিক ও অভিনত রূপের হইলে তাহাদের মধ্য দিয়া সুড়ঙ্গের গঠন কিরূপ হয় তাহা বোধগম্য হইবে।

Fig. 17

(a)
HORIZONTAL STRATA
(UNIFORM VERTICAL PRESSURE)

(b)
OBLIQUE STRATA
(UNIFORM VERTICAL PRESSURE WITH LONGITUDINAL THRUST)

(C)
VERTICAL STRATA
(UNIFORM VERTICAL PRESSURE)

(d)
TRANSVERSE OBLIQUE STRATA
(PRESSURE CONCENTRATION ON SIDES)

(e)
VERTICAL STRATA
(HEAVY PRESSURE AT KEY OF ARCH)

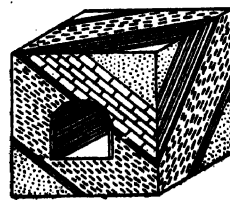
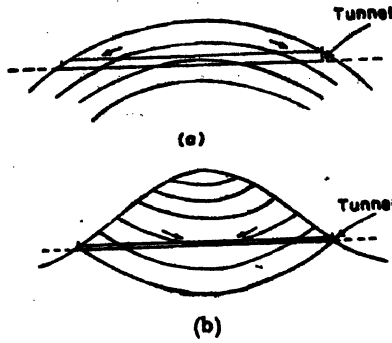
(f)
OBLIQUE STRATA
(PRESSURE CONCENTRATION ON SIDES)

Influence of Rock Stratification Patterns on tunnel locations

Fig. 18

Tunnel crossing (a) an anticline and (b) a syncline.

সাধারণতঃ উর্ধ্বভাঙ্গিক গঠনের উপরের স্তরগুলি নিম্নদিকের স্তরগুলি অপেক্ষা অধিকমাত্রায় বক্র অবস্থায় থাকে এবং প্রসার্য পীড়নের (Tensile stress) দ্বারা বিদারপূর্ণ হয়। সেই কারণে সুড়ঙ্গের স্থান নির্ণয়কালে ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের এ বিষয়ে লক্ষ্য রাখা প্রয়োজন যাহাতে সুড়ঙ্গের লেভেলে বিদারের উপস্থিতি ও তজ্জনিত প্রভাবের মাত্রা খুবই অল্প হয়। এরূপক্ষেত্রে স্তরপ্রবিষ্ট জলের (Meteoric water) অন্তর্স্রাবণের মাত্রাও কম হয়। উর্ধ্বভাঙ্গিক শিলাস্তরবিশিষ্ট স্থানে সুড়ঙ্গ নির্মাণ করিলে উহার প্রবেশ দ্বার দুইটির সন্নিকটে পার্শ্বিক চাপের (Lateral pressure) মাত্রা খুব বেশী হয়, কিন্তু সুড়ঙ্গের মধ্যস্থলে ঐ চাপ অপেক্ষাকৃত অনেক কম হয়। অপরপক্ষে শিলাস্তরগুলি অভিনত অবস্থায় থাকিলে ফল বিপরীত হয়। পাহাড়ের খাড়া (Steep) ঢাল (Slope) বিশিষ্ট স্থানে সুড়ঙ্গ নির্মাণে নানারূপ বিপত্তি ঘটে কারণ এরূপ স্থলে পারিপার্শ্বিক শিলাগুলির স্তরায়ণ সাধারণতঃ প্রতিকূল অবস্থায় থাকে। এইরূপ পরিস্থিতিতে সুড়ঙ্গের স্থিতিশীলতা সম্বন্ধে পর্য্যাপ্ত পরিমাণে ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান ও তদ্বারা আহরিত তথ্যের সম্যক বিশ্লেষণ অবশ্য কর্তব্য।

সুড়ঙ্গের স্থান নির্ণয় ও আনুষঙ্গিক সমীক্ষা

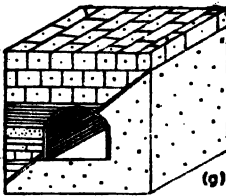
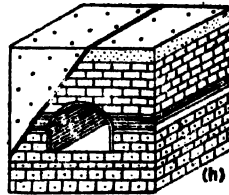
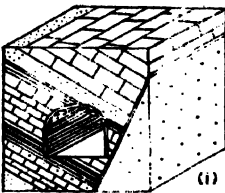
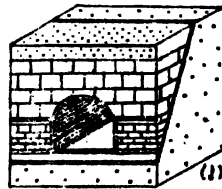
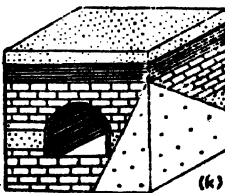
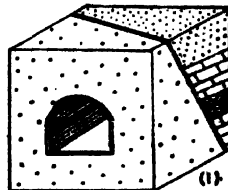
কি উদ্দেশে সুড়ঙ্গ নির্মাণ করা হইবে তাহার উপর ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানের মাত্রা ও প্রকার নির্ভর করে। যদি সুড়ঙ্গটির নির্মাণ

পরিকল্পনা জল বহনের জন্য করা হয় এবং উহাকে আস্তরবিহীন অবস্থায় রাখা স্থির হয়, সেক্ষেত্রে ঐ সুড়ঙ্গের অভ্যন্তরে জলের প্রবাহজনিত পার্শ্ব চাপ কিরূপ মাত্রার হইবে সে বিষয়ে বিশেষ সমীক্ষার প্রয়োজন। কারণ অববাত যদি বিদারপূর্ণ অথবা ভঙ্গ অবস্থার হয়, তাহা হইলে ঐ সকল বিদীর্ণস্থান সমূহের ভিতর দিয়া জলের ক্ষরণ হইতে থাকে এবং কালক্রমে অববাতের প্রতিরোধ ক্ষমতা সম্পূর্ণ হ্রাস পাইবার আশঙ্কা দেখা দেয়। পরিশেষে কোন বিশরিত স্থান জলের চাপে ভাঙ্গিয়া গিয়া বেগে জলক্ষরণের পথ সৃষ্টি করে।

সুড়ঙ্গের স্থান নির্ণয়ের সময়ে ঐ স্থান চ্যুত অবস্থার কি না সে বিষয়েও ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের খুব সতর্কতার সহিত অনুসন্ধান করা কর্তব্য। যদি স্থানটি চ্যুতির দ্বারা বিকৃত হইয়া থাকে তাহা হইলে উহা ভূতাত্ত্বিক সময়ের (Geological time) মাপে অতি পুরাতন অথবা সাম্প্রতিক কি না তাহা জানা দরকার। কারণ শেষোক্ত পর্য্যায়ের হইলে উহাকে সক্রিয় বলিয়া গণ্য করা হয় এবং এইরূপ পর্য্যায়ের চ্যুতিযুক্ত স্থানে যদি নির্মিত সুড়ঙ্গ চ্যুতিরেখাকে অতিক্রম করে তাহা হইলে ঐ সুড়ঙ্গকে স্থিতিশীল করা অসম্ভব। এরূপ পরিস্থিতিতে চ্যুতিযুক্ত স্থানের গণ্ডীর বাহিরে সুড়ঙ্গের alignment স্থির করা বাঞ্ছনীয়। যদি কোন চ্যুতিরেখা হইতে বেশ কিছু দূরে সুড়ঙ্গের স্থান নির্ণয় করা হয় কিন্তু ঐ অঞ্চলে কয়েকটি চ্যুতিখণ্ড (Fault block) থাকে, সেক্ষেত্রে ঐ স্থানে নূতন চ্যুতি ঘটার সম্ভাবনা বিষয়ে বিবেচনা করা উচিৎ। তাহা ছাড়া যে কোন চ্যুতি সক্রিয় বা নিষ্ক্রিয় হউক না কেন ঐ চ্যুতিখণ্ডে শিলা-সমূহ বিদীর্ণ ও স্থিতিশীলতাবিহীন অবস্থায় থাকে এবং ফলে সুড়ঙ্গের মধ্যে জলপ্লাবনের আশঙ্কা থাকে। চ্যুতিযুক্ত স্থানে সুড়ঙ্গ নির্মাণে আর একটি বিপদ দেখা দেয়। সাধারণতঃ চ্যুতি দ্বারা বিভক্ত শিলাস্তরসমূহের মধ্যে ঐ সকল শিলার চূর্ণীভূত অংশ নরম মৃত্তিকারূপে থাকে। ইহাকে gouge বলে। সুড়ঙ্গ নির্মাণের সময়ে অথবা পরবর্ত্তীকালে ঐ gouge-এর ফুলিয়া উঠার প্রবণতা দেখা দেয় এবং ফলে সুড়ঙ্গের ঠেস ও আস্তরকে স্থানচ্যুত করিয়া দেয়। অনেক সময়ে চ্যুতিখণ্ডে বিভক্ত শিলাস্তরের মধ্যে চূর্ণীভুতশিলা অংশ অতি মিহি বালুকণার অবস্থায় থাকে এবং সুড়ঙ্গের নির্মাণকালে উহা সবেগে পড়িতে থাকে। উপরোক্ত আলোচনা হইতে ইহাই প্রামাণিত হইতেছে যে সুড়ঙ্গের alignment চ্যুতিমণ্ডলের বেশ কিছু দূরে স্থির করিলে উহার নির্মাণে এবং ভবিষ্যতে স্থিতিশীলতার ব্যাপারে

অনেক বিপত্তি এড়ান যায় তবে ইহার জন্য বিস্তারিত ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানের প্রয়োজন।

নিম্নে দর্শিত চিত্রগুলিতে চ্যুতি ও সুড়ঙ্গের পারস্পরিক স্থান এবং তজ্জনিত একের অন্যের উপর প্রভাব বিস্তার কিরূপ হয় তাহা দেখান হইয়াছে।

Fig. 19

TUNNEL LOCATED IN FAULTED ZONE

TUNNEL LOCATED IN THE FOOTWALL

TUNNEL LOCATED IN THE HANGING WALL

FAULT OBLIQUE TO LONGITUDINAL AXIS

FAULT OBLIQUE AND OUTSIDE THE TUNNEL

TRANSVERSE AND LONGITUDINAL OBLIQUITY OF FAULT

Different tunnel positions due to a fault.

সুড়ঙ্গের ভিতর প্রাকৃতিক উত্তাপ বৃদ্ধি যদিও উহার ভূপৃষ্ঠ হইতে গভীরতার উপর নির্ভর করে, তথাপি উহার নির্মাণকালে এই উত্তাপ বৃদ্ধিতে বিশেষ কোন অসুবিধার সৃষ্টি হয় না কারণ বায়ু সঞ্চালন করিয়া এই উত্তাপের মাত্রা কম করা হয়। কিন্তু যে সব সুড়ঙ্গকে জলবহনের কার্য্যে ব্যবহার করা হয়, সেক্ষেত্রে সুড়ঙ্গের ভিতরের নিয়মিত সাময়িক উত্তাপের মাপ লিপিবদ্ধ করা অবশ্য কর্তব্য কারণ অনেক সময়ে পারি-পার্শ্বিক শিলাসংস্তর সুড়ঙ্গের ভিতরের উত্তাপ হ্রাস করিতে সহায়ক হয় এবং শীতপ্রধান দেশে দেখা গেছে যে ইহাতে অল্পবিস্তর বরফের সৃষ্টি হয় ও তাহার দ্বারা জলের অবাধগতির বিঘ্ন ঘটে।

পূর্বেই বলা হইয়াছে যে সুড়ঙ্গ নির্মাণের স্থান নির্ণয়ের সময়ে স্থানীয় জলপীঠের (Water table) লেভেল সম্বন্ধে সঠিক অনুসন্ধান বিশেষ আবশ্যক কারণ যদি সুড়ঙ্গের alignment ঐ জলপীঠের লেভেলে হয় তাহা হইলে ঐ সুড়ঙ্গের মধ্য দিয়া জলপীঠ হইতে ভূজল প্রবাহিত হয় এবং ফলে ঐ জলপাঠের উপর নির্ভরশীল বহু কূপ হইতে ভূপৃষ্ঠে জলসরবরাহের বিঘ্ন ঘটে। সুতরাং সম্ভব হইলে জলপীঠ হইতে বেশ কিছু উর্দ্ধে সুড়ঙ্গ নির্মাণ করা বাঞ্ছনীয়। অনেক ক্ষেত্রে ভূপৃষ্ঠে বড় জলাধার অথবা নদী বা হ্রদ থাকিলেও সেই স্থানে ভূনিম্নে সুড়ঙ্গ নির্মাণ অত্যাবশ্যক হয়। সেরূপস্থলে সুড়ঙ্গের ভিতরে জলক্ষরণের সম্ভাবনা খুব বেশী থাকে এবং ঐ জলকে অপবাহিত (Drain out) করার বিশেষ ব্যবস্থা সুড়ঙ্গের নির্মাণের সাথে সাথেই করিতে হয়।

সুড়ঙ্গের স্থাননির্ণয়ে ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষার বিষয় তালিকার মধ্যে আরও কয়েকটি প্রয়োজনীয় বিষয় অন্তর্ভুক্ত হয় যথা সুড়ঙ্গের নির্মাণকালে দূষিত বাষ্পের উপস্থিতিজনিত অসুবিধা ও তজ্জনিত বিপদের সম্ভাবনা এবং মুখ্যত: জলবাহী হিসাবে সুড়ঙ্গটির ব্যবহার হইলে এবং উহা আস্তরবিহীন অবস্থায় থাকিলে ঐ জল সুড়ঙ্গের দেওয়ালেস্থিত কোন খনিজ পদার্থের সংমিশ্রণে দূষিত হইবার সম্ভাবনা। বাষ্পের উপস্থিতি প্রাথমিক ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানে গোচরীভূত হয় না। কারণ যদি ইহা কোন উপায়ে শিলাসংস্তরের বিদারসমূহের মধ্যে জমিয়াও থাকে, ইহা সুড়ঙ্গের নির্মাণের জন্য বিস্ফোরণ ঘটাইলে তবেই ঐ সকল বিদারপূর্ণ শিলাসমূহ হইতে নির্গত হয়। আর সুড়ঙ্গ মধ্যে আপত্তিজনক খনিজ পদার্থের উপস্থিতিজনিত সুড়ঙ্গের মধ্যে প্রবাহিত জল দূষিত হইবে কি না ইহাও ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের পক্ষে ভূপৃষ্ঠে প্রাথমিক সমীক্ষার দ্বারা নিরূপণ করা

সম্ভব নহে। তবে যদি ভূপৃষ্ঠে এমন কোন খনিজ পদার্থের উদ্ভেদ থাকে যাহা সুড়ঙ্গের লেভেল অবধি অথবা আরও অধিক বেধ অবধি থাকিতে পারে এবং তজ্জনিত সুড়ঙ্গের ভিতরের জল দূষিত হইতে পারে, সে বিষয়ে তিনি তাঁহার রিপোর্টে কিছু আভাস দিতে পারেন।

কঠিন প্রস্তরময় স্থানে সুড়ঙ্গের নির্মাণ পদ্ধতি

যে সকল সুড়ঙ্গ কঠিন প্রস্তরময় স্থানে নির্মাণ করা হয় তাহাদের নির্মাণ পদ্ধতি সম্বন্ধে এখন আলোচনা করা হইতেছে। স্থিতিশীলতার দিক হইতে বিবেচনা করিলে দেখা যায় যে intack rock-এ খনন করা সুড়ঙ্গের তির্যকচ্ছেদ (Cross section) যে কোন আকারের হইতে পারে। কিন্তু ভগ্ন এবং অনবস্থিত প্রস্তরময় স্থানে গোলাকারের সুড়ঙ্গ স্থিতিশীলতার দিক হইতে বাঞ্ছনীয়। তবে সুড়ঙ্গের ভিতরের আকার ইহা কি উদ্দেশ্যে ব্যবহার হইবে তাহার উপর অনেকাংশে নির্ভর করে। জলবাহী সুড়ঙ্গগুলি সাধারণতঃ গোলাকারের হয়, কিন্তু রেলপথ অথবা রাজপথের জন্য নির্মিত সুড়ঙ্গগুলি horse-shoe আকারের হয়। যে শিলাসংস্তর খনন করিয়া সুড়ঙ্গ নির্মাণ করা হইবে সেই শিলার অবলম্বন-শূন্য অবস্থায় অবঘাতের ভারবহনের (Bridging or "standing-up" capacity) ক্ষমতার উপরে খননকার্য্য বহুলাংশে নির্ভর করে। দেখা গেছে যে প্রস্তরময় স্থানে অনুভূমিক সুড়ঙ্গ খননকালে উহার ছাদ বিনা অবলম্বনে কিছুদিন স্থায়ী হয়। এই বিনা অবলম্বনে স্থায়ী থাকার সময় সীমাকে "bridge-action time" অথবা "stand-up time" বলা হয়। সুড়ঙ্গের ছাদের প্রস্তরের সাময়িক bridging capacity মুখ্যতঃ উহার যন্ত্রীশক্তি ও প্রসার্যপীড়নের উপর নির্ভরশীল, এবং এই দুই গুণাবলীর কৃতকার্যতা আবার সুড়ঙ্গের দুই পাশের দেওয়ালের মধ্যে ব্যবধান ও ছাদের প্রস্তরের যন্ত্রীশক্তির উপর নির্ভর করে। সাধারণতঃ সুড়ঙ্গের নির্মাণস্থানে শিলাসমূহের কাঠিন্য ও অনমনীয়তা বেশী হইলে bridging capacity বৃদ্ধি পায়। তবে শিলাসমূহ কঠিন প্রকৃতির হইলেও যদি সম্ভেদ (cleavage) পূর্ণ হয়, সেক্ষেত্রে এই bridging capacity লোপ পায়। ইহা ছাড়াও সুড়ঙ্গ নির্মাণের জন্য উহার প্রবেশ দ্বারে অধিক সংখ্যায় ছোট ছোট গর্ত খনন করিয়া অগ্রসর হইতে থাকিলে ঐ স্থানের ছাদের bridging capacity হ্রাস পায়।

কঠিন শিলাসংস্তরে সুড়ঙ্গ খনন একটা নিয়মিত পর্যায়ে করা হয়। প্রথমে, সুড়ঙ্গের প্রবেশ পথে পাশাপাশি ও উপর নীচে বেশ কয়েকটি গর্ত খনন করিয়া প্রতিটি গর্তের সহিত পরস্পরের পারিপার্শ্বিক সংযোগ-স্থাপনা করা হয়। এই কার্য্যে বিস্ফোরক পদার্থের সাহায্য লাগে। অনেক সময়ে যন্ত্রচালিত Jumbo নামক বহু ছিদ্রকারী যন্ত্রের সাহায্যে ছিদ্র খনন করিয়া ও সেগুলিতে বিস্ফোরক পদার্থ ঠাসিয়া দিয়া এককালীন সব ছিদ্রগুলিতে বিস্ফোরণ ঘটান হয়। বিস্ফোরণজনিত গ্যাস নিষ্ক্রান্ত হইয়া গেলে ভেঙ্গে পড়া প্রস্তর ও মাটিসমূহ (Muck) অপসারণ করিয়া খননকরা স্থানের ছাদে ঠেস দেওয়ার ব্যবস্থা করা হয় এবং পুনরায় উপরোক্ত ধারায় খননকার্য্য চালান হয়। এই পদ্ধতিতে সুড়ঙ্গ নির্মাণের কাজ অগ্রসর হইতে থাকে। সুড়ঙ্গের তির্যকছেদ অপেক্ষাকৃত ছোট হইলে উহার নির্মাণকালে প্রবেশপথের সবটাই একবারে (Full-face method) বিস্ফোরণ পদার্থের সাহায্যে ভাজিয়া ফেলা হয়। পরে ছাদে ঠেস দিয়া পুনরায় খননকার্য্য চালান হয়। এইরূপ ছোটমাপের সুড়ঙ্গের ছাদের ঠেসকে rib-type support বলা হয়। এই full-face method বড়মাপের সুড়ঙ্গ খননের কার্য্যেও প্রয়োগ করা চলে যদি সুড়ঙ্গের ছাদ অবলম্বনবিহীন অবস্থায় বেশ কিছু সময় থাকিয়া বিস্ফোরণজনিত গ্যাস নিষ্ক্রান্ত হইতে ও muck অপসারণ করিতে অবকাশ দেয়। যেক্ষেত্রে শিলাসংস্তরের কাঠিন্য অপেক্ষাকৃত কম এবং সুড়ঙ্গের তির্যকছেদ বড় সেইরূপ স্থলে প্রধান প্রবেশ পথের দুইপাশে ছোটমাপের drift আগে খনন করিয়া ও সেগুলিতে ঠেস দিয়া পরে ঐ প্রবেশপথে ছিদ্র করা হয় এবং বিস্ফোরণ ঘটাইয়া পূর্বনির্মিত driftগুলির প্রবেশদ্বার সকলের মধ্যে ব্যবধান দূরীভূত করা হয়। তবে এই মধ্যবর্ত্তী প্রধান প্রবেশপথে বিস্ফোরণ ঘটাইবার আগেই driftগুলির ঠেস সরাইয়া দেওয়া হয়। উপরে বর্ণিত সকল পদ্ধতিতেই সুড়ঙ্গের প্রয়োজনীয় খননকার্য্য যেমন যেমন সম্মুখে (Heading) অগ্রসর হইতে থাকে, উহার ছাদের দিকে বিস্ফোরণ-জনিত শিলার দৃশ্যভাগ (Surface) এবং ঠেসের মধ্যবর্ত্তী স্থানসমূহ প্রস্তরের টুকরা বা কংক্রীটের সাহায্যে উত্তমরূপে ভরিয়া দেওয়া বিশেষ কর্তব্য।

পর পৃষ্ঠার চিত্রগুলি হইতে উপরে বর্ণিত সুড়ঙ্গ নির্মাণের পদ্ধতিসমূহ এবং এই ব্যাপারে ব্যবহৃত আখ্যাগুলি বোধগম্য হইবে।

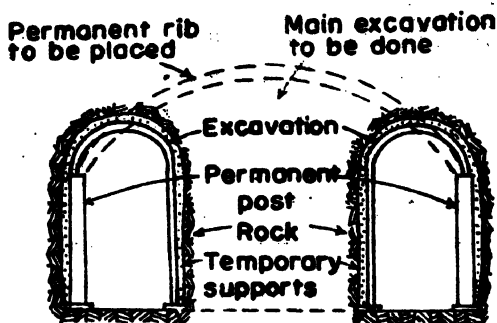
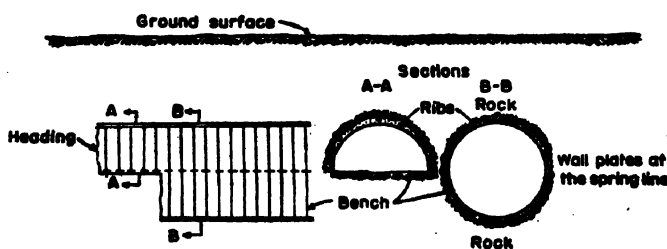
Fig. 20

Side-drift method (a sketch).

Fig. 21

Heading-bench method (a sketch)

নরম জমিতে সুড়ঙ্গ নির্মাণের পদ্ধতি

এখন নরম জমিতে সুড়ঙ্গ খননকরা সম্বন্ধে আলোচনা করা হইতেছে। কঠিন শিলাসমূহের তুলনায় মৃত্তিকাময় নরম জমির প্রসার্য ও যন্ত্রীশক্তি অনেক কম। সুতরাং ইহা স্বাভাবিক যে নরম জমির "stand-up time" অতিশয় অল্প। তবে দেখা গেছে যে সুড়ঙ্গ নির্মাণের স্থানে stiff clay মৃত্তিকা থাকিলে উহার "stand-up time" অনেকাংশে অবিশরিত প্রস্তর সমূহের সহিত তুলনামূলক পর্যায়ের হয় এবং নির্মাণকালে ঠেসের প্রয়োজন নাও হইতে পারে। তবে শিলাসংস্তরময় স্থানে ও নরম জমিতে সুড়ঙ্গ নির্মাণকালে জলপীঠজনিত বিপত্তির মাত্রার অতিশয় পার্থক্য দেখা যায়। কঠিন শিলাযুক্ত স্থানে ভূজলের অন্তর্বাহ প্রবলরূপে হইলেও উহা

সাধারণতঃ অল্প সময়ের জন্য সঙ্কটের সৃষ্টি করে। কিন্তু নরম জমিতে জলপীঠের লেভেলের নীচে সুড়ঙ্গ নির্মাণকালে এই ভূজলের অন্তর্বাহজনিত অসুবিধা প্রায় নির্মাণের শেষ অবধি থাকে। কোন কোন ক্ষেত্রে সুড়ঙ্গের ভিতরে এইসকল জলবাহী প্রণালীগুলি grouting-এর দ্বারা বন্ধ করিবার চেষ্টা করা হয়। "Shield method" নামক এক পদ্ধতি অবলম্বন করিয়া নরম জমিতে এবং বিশেষতঃ জলপীঠের লেভেলের নীচে সুড়ঙ্গ নির্মাণ করা হয়। এই পদ্ধতিতে বৃত্তাকারের ইস্পাতনির্মিত বাক্স ব্যবহার করা হয় এবং ইহার মধ্যে আড়াআড়িভাবে সম্মুখ ও পশ্চাৎ-দিকের মধ্যে একটি ব্যবধায়ক পর্দা (Diaphragm) থাকে। এই বৃত্তাকার ইস্পাতের বাক্সের সম্মুখভাগ মাটী কাটিবার উপযুক্ত ধারবিশিষ্ট করা হয় এবং hydraulic jack-এর সাহায্যে ইহাকে সজোরে ধাক্কা দিয়া ক্রমশঃ ক্রমশঃ জমির ভিতরে ঠেলিয়া দেওয়া হয়। এই বাক্সটী যেমন যেমন অগ্রসর হইতে থাকে, ইহার পশ্চাদ্ভাগের ছাদে আস্তর লাগাইয়া দেওয়া হয়। এই প্রকারে পর্যায়ক্রমে নির্মাণকার্য্য চলিতে থাকে। যদি জমির "stand-up time" বেশী হয়, সেক্ষেত্রে ঐ shield এর ভিতরের diaphragm-এর সম্মুখভাগে শ্রমিকেরা হস্তচালিত উপায়ে খননকার্য্য সম্পাদন করিতে সক্ষম হয়। আমেরিকার New York সহরে এইরূপ কয়েকটি shield tunnel আছে যথা—Hudson নদীর তলদেশে Lincoln ও Holland Tunnels ; Sixth Avenue তলদেশে tunnel ইত্যাদি। ইংলণ্ডে এবং ফ্রান্সেও এইরূপ shield পদ্ধতিতে নির্মিত অনেকগুলি tunnel আছে।

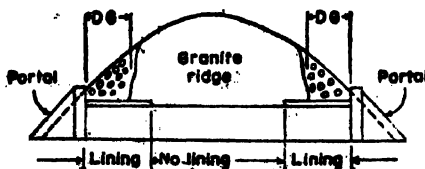
সুড়ঙ্গের নিরাপত্তায় ঠেস ও আস্তরের ভূমিকা

পূর্বেই বলা হইয়াছে যে সুড়ঙ্গের নিরাপত্তা হেতু ইহার ভিতরে আস্তর (Lining) গাঁথিয়া দেওয়া প্রয়োজন। তবে সুড়ঙ্গ যদি কঠিন শিলাময় (Intact rock) জমিতে খনন করা হয় সেক্ষেত্রে আস্তরের প্রয়োজন না হইতেও পারে। যে সুড়ঙ্গে আস্তর গাঁথা হইবে উহার নির্মাণকালে ঐ সুড়ঙ্গের ভিতরে কাঠের বা ইস্পাতের ঠেস দিয়া রাখা হয় এবং এই ঠেসগুলি আস্তর গাঁথিবার প্রাক্কালে সরাইয়া ফেলা হয় অথবা ঐগুলি আস্তরের পিছনে কি মধ্যেও থাকিয়া যায়। গোলাকার বা চারকোণা কাঠের ঠেসগুলি পৃথকভাবে অথবা উহাদের দ্বারা কাঠামো তৈয়ার করিয়া সন্নিবেশ করা হয় এবং সাধারণতঃ আধমিটার হইতে দেড় মিটার বা ততোধিক দূরত্বের ব্যবধানে রাখা হয়। নির্মাণকালে

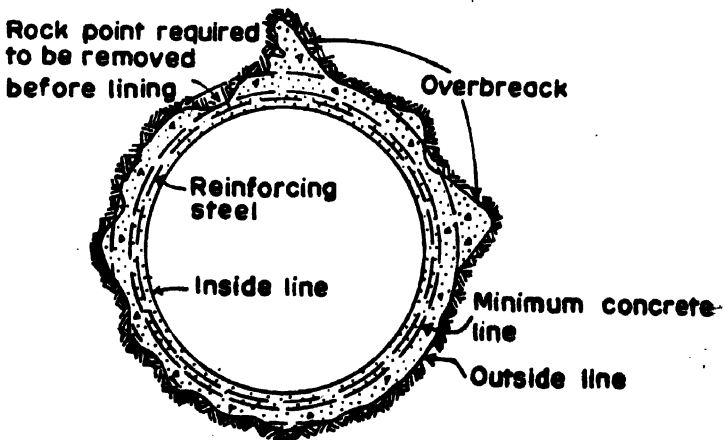
সুড়ঙ্গের অগ্রভাগে উপর দিক হইতে প্রস্তর ইত্যাদি ধ্বসিয়া পড়ার দূরীকরণে কাঠের তক্তাদ্বারা উহাকে আচ্ছাদন দেওয়া হয়। প্রাচীনকালে সুড়ঙ্গ নির্মাণের সময়ে কাঠের ঠেস ব্যবহৃত হইত, কিন্তু বর্তমানে ইস্পাত নির্মিত বিভিন্ন আকারের ঠেস ব্যবহার করা হয়। উপরে ছাদের দিকে খিলানের আকারে ঠেসের অংশকে rib বলা হয় এবং পাশের দেওয়ালের ঠেসকে post বা wall plate বা liner plate আখ্যা দেওয়া হয়। অনেক সময়ে সুড়ঙ্গের তির্যকচ্ছেদ অনুসারে পূর্ণ গোলাকারের ঠেস ব্যবহৃত হয়, আবার কয়েকক্ষেত্রে উপরের অংশ খিলানের আকারে এবং দেওয়ালের দিকের অংশ থামের আকারের হয়। ইস্পাত নির্মিত এই ঠেস সুড়ঙ্গের ভিতরের শিলাসমূহের অবস্থানুযায়ী একের পিছনে অপরকে অথবা কিছু দূরত্বের ব্যবধানে রাখা হয়। Fig. 21 হইতে এই ঠেসগুলির আকার বোধগম্য হইবে। সুড়ঙ্গের ছাদের শিলাসংস্তর খুব কঠিন অবস্থার এবং সম্ভেদ (Cleavage) বিহীন হইলে অনেক সময়ে সুড়ঙ্গের ভিতরে কোন ঠেস দেওয়া হয় না, তবে ছাদের অব্যবহিত উপরিস্থ কোন দৃঢ় অবস্থার শিলাস্তরের সহিত ছাদকে কীলের (Bolts) দ্বারা আবদ্ধ করা হয়। এই প্রথানুযায়ী কয়েকটি bolt একটি স্থানকে কেন্দ্র করিয়া বিভিন্নদিকে ঠুকিয়া দেওয়া হয় এবং ইহাকে roof bolting বলে। ইহার দ্বারা সুড়ঙ্গের খননকালে উহার ছাদ ও তাহার উপরিস্থ শিলাস্তরের মধ্যে হড়কাইয়া যাওয়ার প্রবণতা রোধ হয়।

সুড়ঙ্গের ভিতরের আস্তর কংক্রীটের দ্বারা গাঁথনি করা হয় তবে এই আস্তর কত মোটা হইবে সেটা ছাদের উপর যন্ত্রীচাপের মাত্রানুযায়ী হয় এবং সুড়ঙ্গের যে স্থলের ছাদ অপেক্ষাকৃত দুর্বল সেইখানের আস্তর বেশী মোটা হয়। সাধারণ কংক্রীট দিয়া এই আস্তর গাঁথা হয় তবে জলবাহী সুড়ঙ্গের জন্য re-inforced কংক্রীট ব্যবহার হয়। ইঞ্জিনীয়ারগণ সুড়ঙ্গের ভিতরের আস্তরের স্থূলত্ব মোটামুটি একটা নিয়মে স্থির করেন। এই নিয়মানুযায়ী সুড়ঙ্গের আস্তরের স্থূলত্ব উহার (সুড়ঙ্গের) ব্যাসের এক-চব্বিশাংশ হয়। পূর্বেই বলা হইয়াছে যে সুড়ঙ্গ খননকালে উহার পার্শ্বস্থ প্রস্তরসমূহ বা মৃত্তিকার উপরে যন্ত্রীচাপের বৃদ্ধিজনিত অবঘাতের অল্প-বিস্তর স্থানচ্যুতি ঘটে এবং প্রস্তর মৃত্তিকার অংশবিশেষ ধ্বসিয়া পড়ে। এই আস্তরগাঁথার মূল উদ্দেশ্য ঐ সকল স্থানচ্যুতিজনিত বিপত্তি প্রতিহত করা এবং ইহার জন্য ঐ আস্তর কিছুটা নমনশীল (Flexible) হওয়া প্রয়োজন। আস্তরের উপর উর্ধ্বাধ চাপের মাত্রা সুড়ঙ্গের বেধের

(Depth) কম বেশী হওয়ার উপর নির্ভর করে না। অনুভূমিক বা পার্শ্ব চাপের মাত্রা সাধারণতঃ কঠিন প্রস্তরময় স্থানে অল্পই হয়, কিন্তু যে সকল ক্ষেত্রে জমির ফুলিয়া উঠার বা সঙ্কুচিত হওয়ার প্রবণতা আছে অথবা মৃত্তিকা সংসক্তিবিহীন সে সকল ক্ষেত্রে এই পার্শ্ব চাপের মাত্রা খুব বৃদ্ধি পায়। কংক্রীট বা ইস্পাতের আস্তর এই সকল অবস্থায় বিশেষ কার্য্যকরী হয় এবং সুড়ঙ্গের পাশের দেওয়ালের design কিছুটা বক্র ধরণের করিলে সুফল পাওয়া যায়। নরমজমিতে নির্মিত সুড়ঙ্গের আস্তরের উপর উর্ধ্বাধ চাপের মাত্রা মৃত্তিকার গতিশাস্ত্র সম্বন্ধীয় নিয়মানুসারে হিসাব করা হয় তবে সাধারণতঃ উর্ধ্বাধ চাপের মাত্রা স্থানীয় অবঘাতের ওজনের সমান হিসাবে ধরা হয় এবং ইহাকে rock load বলে। অনুভূমিক চাপ এই উর্ধ্বাধ চাপের কিয়দংশ বলিয়া গণ্য করা হয়। সুড়ঙ্গের ভিতরের আস্তরের উপর উর্ধ্বাধ চাপের মাত্রা নিরূপণ করিবার জন্য ঐ সুড়ঙ্গকে আস্তরবিহীন অবস্থায় রাখিয়া তাহার উপর দিকের এবং পাশের শিলাস্তরের বা মৃত্তিকার কি পরিমাণ স্থানচ্যুতি ঘটিতেছে বা ঘটিবার সম্ভাবনা দেখা যাইতেছে সে বিষয়ে সমীক্ষা করা হয়। যে স্থলে শিলাস্তর খুব কঠিন এবং সংসক্তিপূর্ণ, যেমন গ্র্যানিট বা ব্যাসল্ট, সেই সকল স্থানে সুড়ঙ্গের ভিতরে ছাদের উচ্চতা উহার প্রস্থের প্রায় দ্বিগুণ করা যাইতে পারে এবং ছাদের খিলান Gothic রূপ ধারণ করে। উর্ধ্বাধ চাপের প্রকৃতি এক্ষেত্রে প্রতিসম (Symmetrical) অথবা অপ্রতিসম (Non-symmetrical) হইতে পারে, কিন্তু যদি এই সকল সংসক্তিপূর্ণ শিলাসমূহের যন্ত্রীশক্তি উহাদের উপরে অধিক পরিমাণে যন্ত্রীচাপ প্রতিহত করিবার সামর্থ্য রাখে সেস্থলে সুড়ঙ্গের ভিতরে আস্তর না দিলেও চলে। নিম্নের চিত্র হইতে গ্র্যানিট প্রস্তরের মধ্য দিয়া সুড়ঙ্গের কিরূপ নির্মাণ হয় এবং কোন কোন অংশে আস্তরের প্রয়োজন হয় না এই সকল বিষয় ভালভাবে বুঝা যাইবে।

Fig. 22

Tunnel through a granite ridge (DG means "decomposed granite")

সুড়ঙ্গের আস্তরের উপরে চাপ উহার গাঁথনির পর কালক্রমে কিছুটা বৃদ্ধি পাইতে থাকে এবং অবশেষে সাম্যাবস্থা দেখা দেয়। যে সকল সুড়ঙ্গ জলবহনের নিমিত্ত নির্মাণ করা হয়, তাহাদের ক্ষেত্রে আস্তরের উপর প্রবাহিত জলের আভ্যন্তরীন চাপের মাত্রা কিরূপ হইবে (বিশেষতঃ যদি ঐ জলপ্রবাহ আপনা হইতেই চাপের অধীনে থাকে) তাহা ইঞ্জিনীয়ারগণ নির্ধারণ করিয়া আস্তরের গাঁথনি কি প্রকারের হইবে তাহা স্থির করেন। নরম জমিতে সুড়ঙ্গ খনন করিলে উহার তির্যকছেদের ভিতরের আকৃতি (Inside line) কংক্রীট lines-এর সহিত প্রায় মিলিয়া যায়, কিন্তু কঠিন শিলাময় স্থানে খনন করিবার সময়ে ভিতরের এই আকৃতি তির্যকছেদের সাথে সম্পূর্ণ মিল খায় না কারণ শিলাসংস্তরের কাঠিন্যের জন্য খননকালে কয়েকাংশ কিছু বেশী ভাঙ্গা হইয়া যায় এবং এই অংশ সমূহকে overbreak বলে। সুতরাং আস্তরও এই overbreak-এর মধ্যে গাঁথা হয়। তাহা ছাড়া আস্তর এবং তাহার সংলগ্ন শিলাসংস্তর বা মৃত্তিকার মধ্যে সমস্ত শূন্য (Void) স্থান কংক্রীটের দ্বারা অথবা grouting করিয়া ভর্ত্তি করিয়া দিতে হয়। নিম্নের চিত্রে Overbreak, Inside line, Outside line ইত্যাদি বলিতে কি বুঝায় এবং বিনা ঠেসে সুড়ঙ্গের তির্যকছেদ কিরূপ হয় তাহা দেখান হইয়াছে।

Fig. 23

Unsupported tunnel section.

অষ্টম অধ্যায়

রেলপথ ও রাজপথ এবং সেতুবিন্যাস

রেলপথ ও রাজপথ নির্মাণ এবং উহাদের প্রয়োজনে সেতু নির্মাণ ব্যাপারে কারিগরী ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের অবদান দ্বিতীয় অধ্যায়ে আলোচনা করা হইয়াছে। এই তিনটি বিষয়সূচী একে অপরের সহিত অচ্ছেদ্য বন্ধনে আবদ্ধ। কি রেলপথ, কি রাজপথ, প্রত্যেকেরই নির্মাণ কল্পনাতে সেতুনির্মাণের আবশ্যকতা অবশ্যই স্থান পায়।

রেলপথ

রেলপথের alignment স্থির করিবার সময়ে স্বভাবতই উহার বিন্যাস যতদূর সম্ভব সমতলভূমির উপর দিয়া করা সম্ভব হয় সে বিষয়ে লক্ষ্য রাখা হয়। তবে অনেক সময়ে কিছু চড়াই (Rise) বা উতরাই (Slope) একেবারে বর্জন করা সম্ভব হয় না। বিশেষত: পার্বত্যাঞ্চলে ইহা অনিবার্য। কিন্তু রেলপথ ও রাজপথ উভয় ক্ষেত্রেই এই চড়াই বা উতরাইএর মাত্রার একটা সীমা থাকে। সুতরাং স্থান বিশেষে এই সীমা লঙ্ঘন করিবার প্রয়োজন দেখা দিলে cutting করিয়া অথবা বাঁধ (Embankment) গড়িয়া ঐ alignment-এর সমতলভাব যতদূর সম্ভব সীমার মধ্যে রাখা হয়। তবে যদি কোন দুর্লঙ্ঘ্য পাহাড় ঐ alignment-এর মধ্যে আসে, সে ক্ষেত্রে সম্ভব হইলে alignment-এর পরিবর্তন করিতে হয়। কিন্তু ইহাতে যদি নির্মাণের ব্যয়ের মাত্রা বহুগুণ বাড়াইতে হয় অথবা পারিপার্শ্বিক অবস্থায় alignment-এর পরিবর্তন করা সম্ভব না হয়, সেক্ষেত্রে ঐ পাহাড়ের মধ্যে সুড়ঙ্গ নির্মাণ করিয়া পথ তৈয়ার করা হয়। এই সুড়ঙ্গ নির্মাণ সম্বন্ধে এবং কারিগরী ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের এই বিষয়ে অবদানের কথা পূর্ব অধ্যায়ে বিশদভাবে আলোচনা করা হইয়াছে।

রেলপথের প্রস্তাবিত alignment-এর স্থায়িত্ব সম্বন্ধে ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষার বিষয়সূচীর মধ্যে ঐ alignment বরাবর কোনরূপ চ্যুতি বা বিদারযুক্ত ত্রুটি আছে কি না উহার অনুসন্ধান বিশেষ স্থান পায়। সাধারণ মৃত্তিকাবহুল জমির

উপর দিয়া রেলপথ নির্মাণ কোনরূপ অসুবিধার সৃষ্টি করে না। এমনকি দৃঢ়ীভবন (Consolidation) করাইয়া নরম বা জলাভূমির উপর দিয়াও রেলপথ নির্মাণ করা সম্ভব হয়, কিন্তু পাহাড়ীদেশে অথবা শিলাবহুল স্থানে উপরোক্ত ত্রুটীগুলির উপস্থিতি সম্বন্ধে অনুসন্ধানের বিশেষ প্রয়োজন। অনেকক্ষেত্রে এই সকল ত্রুটীপূর্ণ শিলাসংস্তরের উপরিভাগ মৃত্তিকা (Soil) দ্বারা আচ্ছাদিত থাকায় ভূপৃষ্ঠে সমীক্ষা চালাইয়া উহাদের উপস্থিতি সম্বন্ধে সঠিক ধারণা করা যায় না। তবে বিশেষজ্ঞের অভিজ্ঞতায় পারিপার্শ্বিক অবস্থার নিরীক্ষণের দ্বারা এই সকল ত্রুটী জানা যায়; অন্যথায় ভূছিদ্র-করণের দ্বারা এই সকল তথ্য আহরণ করা সম্ভব হয়। রেলপথে ভারবহনের পরিমাণ রাজপথের তুলনায় বহুগুণ বেশী হয় বলিয়া উহার ভারবহনের ক্ষমতা ও স্থিতিশীলতা সম্বন্ধে এইসকল ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষার প্রয়োজন বেশী হয়।

রাজপথ

রাজপথে ভারবহনের পরিমাণ অনেক কম হওয়ায় সাধারণ সমতল-ক্ষেত্রে উহার স্থিতিশীলতা চিন্তার কারণ হয় না, কিন্তু পার্বত্যাঞ্চলে সড়কসমূহ পাহাড়ের পাদদেশ হইতে স্থলাকৃতিজনিত বহু উঁচু নীচু অসমতল স্থান এবং প্রতিকূল গাঠনিক অবস্থা ও বিভিন্ন প্রকারের শিলা-সংস্তর অতিক্রম করিয়া উপরের দিকে উঠে এবং সড়কগুলির alignment সাধারণতঃ পাহাড়ের গা ঘেঁসিয়া হয়। অনেকসময়ে এইসকল পাহাড়ের শিলাসমূহ স্তরবিশিষ্ট হয় এবং ঐ সকল স্তরের নতি (Dip) পাহাড়ের ভিতর দিকে অথবা বাহিরের দিকেও হয়। শেষোক্ত প্রকারের নতিযুক্ত শিলাস্তরগুলির স্থিতিশীলতার মাত্রা অল্প হয়, বিশেষতঃ বর্ষাকালে ঐ সকল স্থানের স্খলন প্রায়ই ঘটে। সুতরাং ঐরূপ ভূতাত্ত্বিক ত্রুটীপূর্ণ স্থানের উপর দিয়া সড়কগুলি যে কোন সময়ে স্খলনজনিত বিপদের সম্মুখীন হইতে পারে। শিলাস্তরগুলির নতি প্রতিকূলে হওয়া ছাড়াও অনেকক্ষেত্রে ঐসকল শিলা সমূহে নানা ধরণের সন্ধি (Joints) থাকে এবং ইহাতে স্থিতিশীলতার বিঘ্ন ঘটায়। অনেকসময়ে এইসকল সন্ধিগুলি পাহাড়ের মধ্যে ভূজলের স্তর সমূহকে অতিক্রম করে। ফলে ঐসকল সন্ধিযুক্ত শিলাস্তরের মধ্য দিয়া ভূজলের ক্ষরণ হইতে থাকে এবং কালক্রমে মৃত্তিকাচ্ছাদিত শিলাস্তরগুলির স্খলন ঘটায়। সুতরাং এইরূপ অবস্থায়

সড়কের স্থান নির্ণয়ে কারিগরী ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের উপদেশ অতিশয় প্রয়োজনীয়। উঁচু পাহাড়ের উপরে রাস্তা যানবাহনের গতায়াতের সুবিধার জন্য আঁকাবাঁকারূপে (Zig zag course) উপরদিকে উঠে এবং ইহাকে "Ghat Road" বলা হয়। এই রাস্তার মোড়গুলিতে (Turning) যদি স্তরবিশিষ্ট শিলাসমূহ নমিত অবস্থায় থাকে এবং নতির দিক পাহাড়ের বাহিরের দিকে হয়, সেরূপক্ষেত্রে ঐ রাস্তা খুব স্থিতিশীল হয় না। তবে এই নতির পরিমাণ যদি 45° ডিগ্রীর উপর হয় বা উর্ধ্বাধর কাছাকাছি হয়, সেস্থলে স্থিতিশীলতা কোন চিন্তার কারণ হয় না। Ghat রাস্তার alignment-এ শিলাস্তরগুলির নতির দিক পাহাড়ের ভিতরের দিকে হইলে এবং নতির পরিমাণ 45° ডিগ্রীর অধিক হইলে উহা আদর্শ অবস্থা বলিয়া গণ্য হয়, বিশেষতঃ যদি শিলাসংস্তরে কোনরূপ সন্ধি বা ভাঁজ না থাকে এবং শিলাগুলি অপেক্ষাকৃত কঠিন প্রকৃতির হয়। কিন্তু বাস্তবক্ষেত্রে এরূপ অবস্থা বিরল অথচ সড়কনির্মাণ জরুরী হইলে উপরোক্ত প্রতিকূল অবস্থা সত্বেও ভূতাত্বিক সমীক্ষা করিয়া পাহাড়ের অপেক্ষাকৃত স্থিতিশীল স্থানের উপর দিয়া সড়ক নির্মাণ করা হয়। প্রাকৃতিক অসুবিধাগুলি সম্পূর্ণভাবে দূর করা সম্ভব হয় না এবং এইরূপ পাহাড়ী রাস্তার কোন কোন স্থানে বিপর্যয় দেখা দেয়। সুতরাং ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ পাহাড়ী রাস্তার alignment-এর স্থিতিশীলতা সম্বন্ধে অনুসন্ধান-কালে শিলাসংস্তরগুলির নতির দিক, মাত্রা ও শিলাসমূহের প্রাকৃতিক গুণাগুণ এবং ঐগুলি কিরূপ বিশরিত হইয়াছে সেই সকলের পর্যালোচনা করেন। কিন্তু যে সকল পাহাড়ের গায়ে প্রায়ই স্খলন ঘটে সেইসকল-ক্ষেত্রে ভূতাত্বিক অনুসন্ধানে নানারূপ সমস্যা দেখা দেয় এবং এই স্খলন নানাপ্রকারের হওয়ায় তাহার সঠিক নির্ণয় এবং উহা পৌনঃ-পুনিক (Frequent) কি না ইত্যাদি বিষয়ে ভূতাত্বিক সমীক্ষা করা বিশেষ প্রয়োজনীয় বোধ হয়। ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের বিনা পরামর্শে এইরূপ ভূতাত্বিক সমস্যাপূর্ণ পার্বত্যাঞ্চলে সড়ক নির্মাণে বহু বিপর্যয় দেখা দিয়াছে। বর্তমানকালে পার্বত্যাঞ্চলে সীমান্তবর্তী বহু রাস্তা (Border roads) নির্মিত হইয়াছে ও এখনও হইতেছে। সুখের বিষয় এই যে ইঞ্জিনীয়ারগণ অধুনা এই সকল দুরূহস্থানে রাস্তা নির্মাণে ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের পরামর্শ ব্যতিরেকে অগ্রসর হন না।

বিমান অবতরণের স্থানের যোগ্যতা—রেলপথ ও রাজপথ নির্মাণ ছাড়াও বিমান বন্দরে বিমান অবতরণের (Airport runways) স্থানের

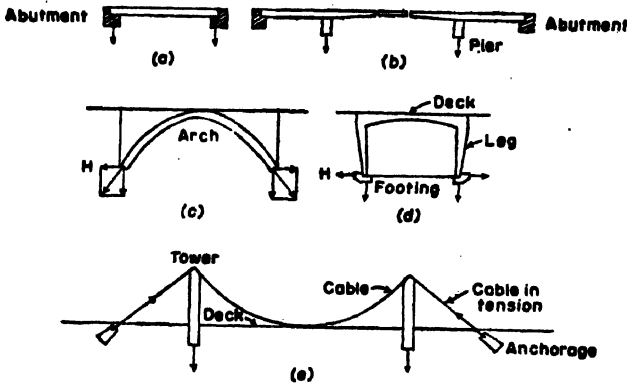
যোগ্যতা নিরূপণের জন্যও ভতাত্ত্বিক সমীক্ষা করা প্রয়োজন হয়। বর্তমান যুগে বৃহদাকারের ভারী লোক ও মালবাহী বিমানগুলি সবেগে অবতরণকালে ভূমিতে যে ধাক্কা দেয় তাহার পীড়নসহনের ক্ষমতা ঐ অবতরণস্থানের মৃত্তিকা বা মৃত্তিকাচ্ছাদিত নিম্নস্থ শিলাসংস্তরের আছে কি না সে বিষয়ে অনুসন্ধান করা বিশেষ বাঞ্ছনীয়, কারণ ঐ পীড়নের চাপে সেই মুহূর্তে অবতারণস্থলের জমি বসিয়া গেলে বিমানটি দুর্ঘটনায় পতিত হইতে পারে। সুতরাং বিমানবন্দর নির্মাণকালে ঐস্থানের মৃত্তিকার গঠন চরিত্র সম্বন্ধে সবিশেষ অনুসন্ধান আবশ্যক। অনেকক্ষেত্রে বিমান-বন্দর নির্মাণের কল্পিতস্থানের আশে পাশে শিলাসংস্তরের উদ্‌ভেদ থাকিলেও যে স্থানটিতে runway নির্মাণ করা হইবে সেখানে শিলাসংস্তরের উপরিভাগ বিশরিত হইয়া মৃত্তিকায় পরিণত হইয়া থাকিতে পারে। সেক্ষেত্রে ঐ কল্পিত runway-র বিভিন্ন স্থানে pit খনন করিয়া বা auger-এর সাহায্যে অগভীর ভূছিদ্র করিয়া মৃত্তিকাস্তরের স্থূলতা নির্ধারণ করা প্রয়োজন হয় ও মৃত্তিকা কিরূপ সুসংবদ্ধ তাহারও নিরূপণ পরীক্ষাগারে করা হয়। ভূছিদ্রের সংখ্যা এবং স্থান এমনভাবে স্থির করা উচিৎ যাহাতে সমগ্র বিমানবন্দরের যে কোনদিকে অন্ততঃ পাঁচ মিটার গভীর নিম্নস্থ ভূস্তরের একটা সঠিক ভতাত্ত্বিক ধারণা করা সম্ভব হয়। ঐ কল্পিত বিমানবন্দরের যদি কোন অংশে পূর্বের কোন অগভীর নালা বর্তমানে অসংবদ্ধ অবস্থায় পুরণ হইয়া গিয়া থাকে, সেগুলিকে চিহ্নিত করা অতিশয় আবশ্যক। কারণ runway-টির ব্যবহার আরম্ভ হইবার কিছুকাল পরেই ঐসকল স্থান বসিয়া গিয়া বিপর্যয় সৃষ্টি করে। কংক্রীটের নির্মিত runway খুব শক্ত ও মজবুত হয় কিন্তু উহার তলদেশের মৃত্তিকাস্তরগুলি উপযুক্তভাবে সুসংবদ্ধ না থাকিলে উপরের আচ্ছাদনে ফাটল দেখা দেয়। অনেকক্ষেত্রে উপরের আচ্ছাদন নির্মাণে asphalt ব্যবহৃত হয়, কিন্তু নিম্নস্থ মৃত্তিকাস্তর বৃষ্টির জলে ভিজিয়া কখনও কখনও ফাঁপিয়া উঠে ও ফলে উপরের আচ্ছাদনে ফাট্ দেখা দেয়। ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানের দ্বারা কল্পিত বিমানবন্দরের স্থানে ভূজলের লেভেল স্বভাবতঃ কত নীচে থাকে এবং বর্ষাকালে উহা ভূপৃষ্ঠের কত সন্নিকটে উঠিয়া আসে এইসকল তথ্য সংগ্রহ করিয়া উহার প্রভাব runway-র স্থিতিশীলতার উপর কিরূপ হইতে পারে তাহা নিরূপণ করা উচিৎ। উপরোক্ত অনুসন্ধানের বিষয়গুলি রাজপথ নির্মাণের সমীক্ষাতেও প্রয়োজনীয় বিবেচিত হয়।

সেতুবিজ্ঞান

দ্বিতীয় অধ্যায়ে সেতু নির্মাণের বিষয়ে প্রাথমিক পর্যায়ে আলোচনা করা হইয়াছে। এখন রেলপথ ও রাজপথ নির্মাণের সহিত ঘনিষ্ঠভাবে সংশ্লিষ্ট সেতু নির্মাণ সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা করা হইতেছে। যে কোন দুইটি জায়গার মধ্যে যোগাযোগ স্থাপন রেলপথ বা রাজপথের দ্বারা করা হয়, কিন্তু প্রাকৃতিক বিচ্ছেদের উপস্থিতি বশতঃ ঐ ব্যবধানের দূরীকরণে সেতুনির্মাণের প্রয়োজন হয়। যে কোন সেতুর দুইটি প্রধান অংশ যথা—(i) Superstructure ও (ii) Substructure ; প্রথমটি রেলপথ বা রাজপথের এক অংশ বলিয়া বিবেচিত হয় এবং নদীবক্ষের উপরে থাকে, আর দ্বিতীয়টি হইল প্রথমটির বনিয়াদ ও সংশ্লিষ্ট গঠনসমূহ। ইহাকে ঐ superstructure-এর এবং তদোপরি যাতায়াতকারী সকল প্রকার যানবাহন ও পদচারীর ভারজনিত চাপ বহন করিতে হয়। সাধারণতঃ নির্মাণপদ্ধতি ও সেতুর দৈর্ঘ্যের উপর উহার শ্রেণীভাগ করা হয়। ছোট নদী বা নালার উপর রাজপথের অংশ হিসাবে যে সকল সেতু নির্মাণ করা হয় সেগুলির দৈর্ঘ্য কম হওয়ায় সাধারণতঃ একটি span-এর হয়। উহা নদীর দুই তীরে গাঁথা ঠেসের (Abutment) উপর অনুভূমিকরূপে নিহিত কড়ি (Girder) দ্বারা দুইতীরের সহিত যোগাযোগ সম্পন্ন করা হয়। এই কড়ি ইস্পাত নির্মিত বা কংক্রীটের হয় এবং উহার তির্যকছেদ (Cross section) সেতুকে সর্বোচ্চ কতটা ভার বহন করিতে হইবে তাহার উপর নির্ভর করে। পুরাকালে কাঠের কড়িও এই উদ্দেশ্যে ব্যবহৃত হইত। আমাদের দেশে এখনও অরণ্য ও জনবিরল স্থান সমূহের মধ্যে ছোট ছোট নদীর উপরে সম্পূর্ণ কাঠের সেতুনির্মাণের ব্যবস্থা প্রচলিত আছে। ইহার নির্মাণ ব্যয় খুব কম এবং প্রয়োজনীয় কাঠের চাহিদা স্থানীয় অরণ্য হইতে পূরণ করা সম্ভব হয়। সেতু single span-এর হইলে উহার superstructure-এর ভার দুই তীরের abutments বহন করে। অনেক সময়ে মাঝারী দৈর্ঘ্যের সেতুর design এমনভাবে করা হয় যে উহার abutments ছাড়া আর দুইটি স্তম্ভ থাকে। নদীর দুই দিক হইতে দুইটি girder এমন দৈর্ঘ্যের হয় যে ইহারা পার্শ্বস্থ abutments ও নিকটস্থ স্তম্ভের উপরে নিহিত হইবার পর উহাদের খানিকটা বর্দ্ধিত অংশ (Cantilever) নদীবক্ষের প্রায় মধ্যবর্তী স্থান অবধি শূন্যে অবস্থান করে। দুই দিকের এই দুই girder-এর মধ্যে শূন্য স্থানটি একটি ছোট সাধারণ কড়ির (Beam) দ্বারা পূর্ণ করা হয় এবং এই কড়িটি দুই পাশের

girder-এর বর্দ্ধিত অংশের উপর নিহিত হয়। এই দুই পার্শ্বস্থ girder-এর একদিক শূন্যে বিনা ঠেসে থাকে বলিয়া এই design-এর গঠনকে cantilever bridge বলা হয় এবং girder-এর এই বর্ধিত অংশ অনুভূমিক অথবা ঈষৎ উর্ধ্বদিকে বাঁকান থাকে। উহার design এমনভাবে প্রস্তুত করা হয় যে ঐ superstructure-এর ভারের চাপ প্রায় সমস্তটাই নদীবক্ষে গাঁথা স্তম্ভ (Piers) গুলির উপর পড়ে এবং তীরস্থ abutments-এর উপর ভারের চাপ অতি অল্পমাত্রায় থাকে। নদীবক্ষ হইতে সেতুর superstructure-এর উচ্চতা বেশী হইলে এবং নদীর প্রস্থ খুব বেশী না হইলে খিলান (Arch) গাঁথিয়া তাহার উপর superstructure নিহিত হয়। ইহাকে arch bridge বলে। এই খিলানের দুইপ্রান্ত নদীর দুইতীরে abutments-এ ঠেস রাখে এবং খিলানের উপর নিহিত superstructure সহ অন্যান্য বস্তুর ভার দুই তীরের abutments-এ উর্ধ্বাধ ও অনুভূমিক উভয়দিকেই চাপ সৃষ্টি করে। Arch bridge ইস্পাতের অথবা কংক্রীটের নির্মিত হয়। ইষ্টকনির্মিত বহু arch bridge এখনও কার্য্যক্ষম আছে। কাঠের সেতুও অনেক জায়গায় খিলানের আকারে আছে। অনেক সময়ে খিলানের দুইপ্রান্তকে লৌহদণ্ড দ্বারা বাঁধন দেওয়া হয় এবং ইহাতে abutments-এ অনুভূমিক ঠেলার (Thrust) মাত্রার অনেকাংশে লাঘব হয়। কখনও কখনও এক অথবা দুইটিমাত্র span-এর সেতু arch-এর বদলে rigid-frame নামক পদ্ধতিতে ইস্পাত বা কংক্রীট দ্বারা গাঁথা হয়। এই পদ্ধতিতে সেতুর পায়া দুইটির তির্যকছেদ নীচে হইতে উপরের দিকে বর্ধিত আকারের হয় এবং ফলে সেতুর superstructure-এর তলদেশ খিলানের আকারে ঈষৎ বক্র হয় ও পায়া দুইটির উপর ভারের চাপ arch bridge-এর ন্যায় অনুভূমিক ও উর্ধ্বাধ এই দুইদিকেই কার্য্যকরী হয়। পার্বত্যাঞ্চলে সুগভীর গিরিখাতে নদীগর্ভে স্তম্ভ গাঁথিবার অসুবিধা থাকায় অথবা প্রায়ই ভূকম্পনের জন্য স্তম্ভের স্থিতিশীলতা নির্ভরযোগ্য না হওয়ায় ঝুলান সেতু (Suspension bridge) নির্মাণ করা হয় এবং এই প্রকার সেতুর ভার বহনের ক্ষমতা সীমাবদ্ধ থাকে। ঝুলান সেতুতে সাধারণতঃ দুই তীরের নিকটে দুইটি ইস্পাতের সুউচ্চ খুঁটি (Tower) থাকে এবং ইস্পাতের সুদৃঢ় বোনা (Spun) দুইটি তার (Cable) এই দুই খুঁটির উপরিভাগে (Saddle) আটকানো থাকে। যানবাহন চলাচলের জন্য এই cableগুলি হইতে পাটাতন (Deck) ঝুলান থাকে, কিন্তু ঐ পাটাতনের উপর ভার চাপিলে cableগুলিতে টান (Pull) পড়ে

ও ফলে tower দুইটির একে অপরের দিকে অর্থাৎ ভিতরদিকে চলিয়া পড়িবার প্রবণতা দেখা দেয়। ইহার প্রতিরোধকল্পে ঐ cableগুলির প্রান্তভাগ নদীর দুইতীরে শিলাসংস্তর থাকিলে উহার মধ্যে, অন্যথায় বেশ বড় রকমের কংক্রীটের গাঁথনি করিয়া তাহাদের মধ্যে প্রোথিত (Anchor) করা হয়। এইরূপ সেতুর উপর দিয়া গমনাগমনকালে উহার বিক্ষেপ (Deflection) এবং দোলন (Oscillation) ঘটে এবং ইহার প্রতিরোধকল্পে অনেকক্ষেত্রে cable দুইটিকে বন্ধনীর (Truss) দ্বারা বাঁধা হয়। আমেরিকার San Francisco সহরের Golden Gate Bridge এইরূপ ঝুলান সেতুর মধ্যে সর্বাপেক্ষা দীর্ঘ এবং ইহার প্রসার (Span) 1272 মিটার। নিম্নের চিত্রগুলি হইতে উপরে বর্ণিত বিভিন্ন প্রকারের সেতুর আকার সম্বন্ধে ধারণা করা সহজ হইবে।

Fig. 24

Types of bridges : (a) Simple Beam, (b) Cantilever, (c) Arch, (d) Rigid-frame, (e) Suspension.

সেতু নির্মাণে ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান :—পূর্ববর্ণিত বিভিন্ন প্রকারের সেতু নির্মাণের জন্য ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের অনুসন্ধান কার্য্যে অগ্রসর হইবার পূর্বে সেতু বিশেষের design কিরূপ স্থিরীকৃত হইয়াছে সে সম্বন্ধে অবহিত হওয়া বিশেষ প্রয়োজন। কারণ ইহা হইতে তিনি ঐ সেতুর substructure-এ এবং abutments-এ কিরূপ ভার জনিতচাপ ও উৎক্রম (Thrust) কার্য্যকরী হইবে তাহার একটা মোটামুটি ধারণা করিতে

সম্বন্ধে হন এবং অনুরূপ ভিত্তিস্থানের সক্ষমতা সম্বন্ধে অনুসন্ধান করিতে তৎপর হন। সাধারণ single বা multispan সেতুর ঊর্ধ্বাধ ভারের চাপ সরাসরি খাড়াদিকে সেতুর পায়াগুলির (Pier or support) মধ্য দিয়া ভিত্তিস্থানে সঞ্চারিত হয়। কিন্তু arch bridge ও rigid-frame bridge-এর ক্ষেত্রে এই ঊর্ধ্বাধ চাপ ছাড়াও অনুভূমিক চাপ বা উৎক্ষম কার্য্যকরী হয় এবং শেষোক্ত চাপের প্রকোপে সেতুর পায়াগুলির পাশের দিকে (Outward) চলিয়া পড়ার প্রবণতা দেখা দেয়। আবার suspension bridge উহার tower-এর মধ্য দিয়া খাড়াভাবে ভিতের উপর চাপ সৃষ্টি ছাড়া দুইতীরের প্রস্তরময় বা কংক্রীট নির্মিত anchor-এর উপর cable দ্বারা টান (Pull) সৃষ্টি করে। সুতরাং কোন কোন স্থানের উপর কিরূপ চাপ বা টান কার্য্যকরী হইবে তাহার হিসাবানুযায়ী ঐ সকল স্থানের ভূতাত্ত্বিক যোগ্যতা সম্বন্ধে সমীক্ষা করা হয়।

সেতুর abutments বলিতে উহার সহিত দুইপাশের রেলপথ বা রাজ-পথের সংযোগ যে গঠন দ্বারা করা হয় তাহাদের বুঝায়। যে রাস্তার সহিত ঐ সেতুর সংযোগ করা হয় উহার উচ্চতা ঐ সেতু অপেক্ষা কম হইলে সংযোগস্থল উঁচু করিতে হয়, এবং ফলে উহা বাঁধের (Embank-ment) আকার ধারণ করে। তবে যদি সেতু ও উহার পার্শ্বস্থ পথের লেভেলের পার্থক্য বিশেষ উল্লেখযোগ্য না হয়, সেক্ষেত্রে সেতু ও উহার abutments-এর মধ্যে অল্প বিস্তর ঢাল রাখার প্রয়োজন হয়। যদি abutment বাঁধের গঠনের হয়, সেক্ষেত্রে ঐ বাঁধের মৃত্তিকা যাহাতে সম্মুখদিকে (সেতুর দিকে) ধ্বসিয়া পড়িয়া নদীর জলের অবাধ গতির বিঘ্ন সৃষ্টি না করে এবং সেতুকে দুর্বল না করে সেই কারণে ঐ abutment-এর প্রান্তভাগ ইষ্টক বা কংক্রীট দ্বারা গাঁথিয়া দেওয়া হয় এবং এই গাঁথনি ঐ সেতুর সংলগ্ন অংশের পাশের দিকেও কিছুটা করা হয় যাহাতে বাঁধরূপী abutment-এর ঐ জায়গায় স্খলন প্রতিহত হয়। এই গাঁথনি করা অংশের উপরেই সেতুর কড়ির (Girder) আসন (Seat) দেওয়া হয়। অনেক সময়ে abutment-এর সম্মুখে ও পার্শ্ববর্তী ভাগে বড় বড় পাথরের টুক্‌রা (Dimension-stone) বসাইয়া এই স্খলনের বিপত্তি দূর করা হয়। সেতুর দৈর্ঘ্য বেশী হইলে উহার superstructure-এর ভার বহনের জন্য নদীবক্ষে যে গাঁথনি করা হয় তাহাকে স্তম্ভ (Pier) বলে। এই স্তম্ভের আকার ও তির্যকচ্ছেদ superstructure এবং তদুপরি যাতায়াত-কারী যানবাহনের ওজনজনিত ঊর্ধ্বাধ চাপের উপর নির্ভর করে।

স্তম্ভগুলি ইঁট বা কংক্রীট নির্মিত হয়। সাধারণতঃ নদীর প্রস্থ ও উহাতে বর্ষাকালীন জলের প্রবাহ যদি খুব বেশী হয় সেক্ষেত্রে pierগুলির উচ্চতা বেশী করা হয় এবং উহাদের ভিত্তিস্থানের বেধ বৃদ্ধি পায়। কিন্তু নদীর প্রস্থ বেশী হইলেও নদীবক্ষ যদি খুব বেশী গভীর না হয়, সেরূপ স্থলে pierগুলির উচ্চতা বেশী করা হয় না। তবে রাজপথ চওড়া হইলে উহার সেতুর স্তম্ভগুলি দৈর্ঘ্যে বেশী হয়। রেলসেতুর ক্ষেত্রে স্তম্ভের দৈর্ঘ্য সাধারণতঃ অল্প হয় তবে উহা সেতুর উপরে কয়টি রেললাইন থাকিবে তাহার উপর নির্ভর করে।

সেতু নির্মাণের স্থান নির্ণয়

এই ব্যাপারে ইঞ্জিনীয়ার ও কারিগরী ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের একত্রে সমীক্ষা করা বাঞ্ছনীয়। যে কোন রেলপথ বা রাজপথের সহিত সংশ্লিষ্ট ছোট ছোট সেতু নির্মাণে কোন সমস্যার সৃষ্টি হয় না এবং স্থান নির্ণয়ের জন্য সমীক্ষার বিশেষ প্রয়োজন হয় না। কিন্তু সেতুর প্রসার (Span) একটু বেশী হইলেই ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষা অবশ্য কর্তব্য, বিশেষতঃ যদি সেই নির্মাণস্থান শিলাময় হয় এবং শিলাসংস্তর ত্রুটীপূর্ণ অবস্থায় থাকে ও ঐ অঞ্চলে প্রায়ই ভূমিকম্প হয়। সেতুর alignment পূর্বেই ইঞ্জিনীয়ার কর্তৃক নির্ধারিত হইলে ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ উহার abutment গঠনের স্থানের স্থিতিশীলতা এবং pierগুলির ভিত্তিস্থানের যোগ্যতা সম্বন্ধে অনুসন্ধান করেন। স্থানীয় স্থলাকৃতি (Topography) অনুকূলে হইলে এবং শিলা-সংস্তরগুলি ত্রুটীবিহীন হইলে abutment গঠনের স্থান নির্ণয়ে কোন সমস্যা দেখা দেয় না। কিন্তু বৃহদাকারের সেতুর abutment-এর উপযুক্ত স্থান নির্ণয়ে ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ অনেক সময়ে বেশ অসুবিধার সম্মুখীন হন এবং সমস্যার সমাধান করিতে যথেষ্ট অভিজ্ঞতা ও বিশ্লেষণ ক্ষমতার প্রয়োজন হয়, বিশেষতঃ যদি সেতুর পার্শ্ববর্তীস্থান জলাভূমি হয় ও নদীর গতির দিক বক্রভাবের (Meandering) হয়। এইসকল ক্ষেত্রে প্রবল বৃষ্টিপাতের ফলে নদীতে জলস্ফীতি হইলে সেতুর দুইপাশ কতদূর অবধি জলমগ্ন হইতে পারে এবং নদীর গতিপথের কিরূপ পরিবর্তন হইতে পারে এইসকল বিষয়ে একটা ধারণা করার ক্ষমতার প্রয়োজন হয়। অবশ্য নদীর পার্শ্বস্থ স্থানসমূহের জলমগ্ন হওয়ার বিষয়ে পূর্ব হইতেই তথ্য সংগ্রহ করা হইয়া থাকে। শিলাময় স্থান হইলে abutment বাঁধিবার ভিত্তিস্থানের স্তরে সন্ধি, বিচ্ছেদ বা চ্যুতি আছে

কি না এবং থাকিলেও ঐসকল ত্রুটীজনিত অবস্থায় সেতুর প্রত্যাশিত ভারবহনকালে কোনরূপ বিপত্তি দেখা দিবে কি না সে বিষয়ে অভিমত প্রকাশ করিতে হয়। সেতুর পায়াগুলির ক্ষেত্রেও ঐ একই ব্যবস্থা গ্রহণ করিতে হয়। সেতু নির্মাণের প্রকল্পিত স্থানের নিকটবর্তী আশে পাশে জায়গায় শিলাসমূহের উদ্‌ভেদ (Outcrop) থাকিলে তাহাদের ভূতাত্ত্বিক অবস্থার পরীক্ষা করা অনেকটা সহজসাধ্য হয়। এমনকি অনেকক্ষেত্রে শিলাসমূহের উদ্‌ভেদ নদীবক্ষেও থাকে এবং সেতুটির পায়াগুলি যদি ঐসকল উদ্‌ভেদের খুবই নিকটবর্তী স্থানে গাঁথিবার প্রস্তাব থাকে, সেক্ষেত্রে নদীর উপরিভাগে সমীক্ষা চালাইয়া ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ তাঁহার মতামত প্রকাশ করিতে সক্ষম হন। কিন্তু কার্য্যক্ষেত্রে এইরূপ অবস্থা খুবই বিরল। ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ যদিও ঐ অঞ্চলের পূর্বপ্রকাশিত ভূতাত্ত্বিক মানচিত্র এবং তথ্যগুলির অনুশীলন করেন, কিন্তু কদাচিৎ সেতু নির্মাণের নির্ধারিত স্থানের বিস্তারিত ভূতাত্ত্বিক অবস্থার বিষয়ে এই প্রকাশিত লিপিসমূহ হইতে সম্যকরূপে জানা যায়। কাজেই স্থানীয় পাতালিক (Subsurface) অনুসন্ধানের (Exploration) প্রয়োজন হয় এবং এই অনুসন্ধানে ভূছিদ্র-করণই (Drilling) একমাত্র নির্ভরশীল পদ্ধতি। সাধারণতঃ সেতু নির্মাণের আগে উহার alignment বরাবর abutments ও pierগুলির চিহ্নিতস্থানে অন্ততঃপক্ষে একটি করিয়া ভূছিদ্র করা হয় যাহাতে ভূনিম্নের মৃত্তিকা বা শিলাসংস্তরের গুণাগুণ সম্বন্ধে সম্যকজ্ঞান অর্জন করা যায়। যেসকল স্থান শিলাময় নয় সেখানেও এই ভূছিদ্রকরণের দ্বারা মৃত্তিকা কিরূপ দৃঢ় সংবদ্ধ তাহা জানা যায় এবং ভূনিম্নে বিভিন্নস্তরের মৃত্তিকার নমুনা সংগ্রহ করিয়া পরীক্ষা করার ব্যাপারে এই পদ্ধতি সহায়তা করে। পর পৃষ্ঠার চিত্রগুলি হইতে সেতু নির্মাণে embankment-এর তির্যকচ্ছেদ এবং পাতালিক অনুসন্ধানে নদীবক্ষে ও তাহার আশেপাশে ভূছিদ্রকরণ সম্বন্ধে সঠিক ধারণা করা সহজ হইবে।

Abutments গাঁথিবার স্থানগুলি সামান্য মৃত্তিকাচ্ছাদিত থাকিলে pit করিয়া ভূনিম্নস্থ মৃত্তিকাস্তর বা শিলাসংস্তর সম্বন্ধে প্রয়োজনীয় তথ্য সংগ্রহ করা যায় বটে কিন্তু নদীগর্ভে pierগুলির চিহ্নিতস্থানে (বিশেষতঃ যেখানে নদীর তীরগুলি শিলাময় হইলেও নদীবক্ষে কোন শিলা উদ্‌ভেদ দৃষ্টিগোচর হয় না) একের অধিক ভূছিদ্রের প্রয়োজন হয় এবং ঐগুলি কঠিন শিলাসংস্তর না পৌঁছান অবধি করা হয়। সাধারণতঃ ভূছিদ্রগুলি করিত সেতুর অক্ষ (Axis) স্থান বরাবর করা হয় কিন্তু pierগুলির

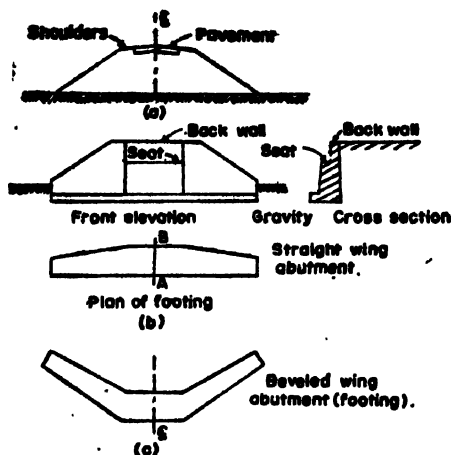
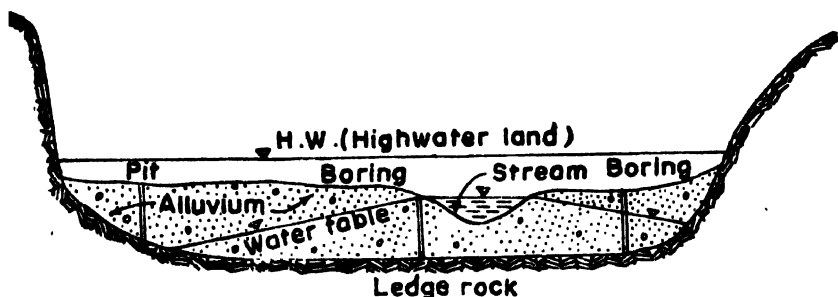
Fig. 25

(a) Embankment in connection with the abutment.
(b) Straight-wing abutment.

Fig. 26

Preliminary site investigations for a bridge at the middle reaches of a stream (sketch).

চিহ্নিতস্থানে ঐ অক্ষপথের আশেপাশেও ঐ ভূছিদ্র করার প্রয়োজন হয় যাহাতে ঐ pierগুলির ভিত্তিস্থানের বেশ কিছুটা অংশের ভূতাত্ত্বিক অবস্থা সম্বন্ধে সন্ধান করা সম্ভব হয়। এই ভূছিদ্রকরণের কার্য্যসূচী সম্বন্ধে ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের নির্দেশ অতি আবশ্যক এবং ভূছিদ্রকরণের সময়ে

তাহাকে ঘনিষ্ঠভাবে সংশ্লিষ্ট থাকিতে হয়, কারণ ভূছিদ্রলব্ধ coreগুলির সমকালীন পরীক্ষার দ্বারা কত বেধে (Depth) ভূছিদ্রকরণ বন্ধ করা প্রয়োজন হইবে সে সম্বন্ধে তিনি উপদেশ দেন। যেক্ষেত্রে pierগুলির ভিত্তিস্থান জলপীঠের (Water table) নীচে ধার্য হয় অথবা ঐস্থানের মৃত্তিকার প্রবেশ্যতার মাত্রা বেশী, সেক্ষেত্রে ঐ ভূছিদ্রগুলির সাহায্যে pumping test করা বিশেষ প্রয়োজন কারণ ইহার দ্বারা সেতুর ঐ pierগুলির নির্মাণকালে কিরূপ অসুবিধার সৃষ্টি হইতে পারে এবং তাহার প্রতিকার সম্বন্ধে কি করা কর্তব্য সে বিষয়ে অভিমত প্রকাশ করা সম্ভব হয়।

সেতুর নির্মাণপদ্ধতি

সাধারণতঃ যে কোন সেতুর কল্পিত-অবস্থানের সংলগ্ন ভূপৃষ্ঠ পরীক্ষা করিয়া এবং অল্প কয়েকটি ভূছিদ্র করিয়া যে তথ্য সংগ্রহ করা হয় তাহার দ্বারা ঐ সেতুর স্থিতিশীলতা সম্বন্ধে একটা মোটামুটি ধারণা করা যায় এবং কিরূপ ভিত্তি নির্মাণ পদ্ধতি অবলম্বন করা হইবে যথা Spread footings অথবা Pile foundations, সে বিষয়েও ইঞ্জিনীয়ার ও ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ পরামর্শ করিয়া একটা সিদ্ধান্তে উপনীত হন। ভূতাত্ত্বিক অবস্থা কল্পিত সেতুর অক্ষপথের আশেপাশে একই ভাবের হইলে বেশী সংখ্যক ভূছিদ্র করিবার প্রয়োজন হয় না। কিন্তু ভূতাত্ত্বিক অবস্থার লক্ষণীয় পরিবর্তন দেখা দিলে ভূছিদ্রের সংখ্যা বৃদ্ধি করিতে হয় এবং দুইটি ভূছিদ্রের মধ্যে ব্যবধানও কম করা হয়। 'Spread footing' ধরণের ভিত্তিমূল বলিতে উহার গঠনের স্থান বেশ বিস্তৃত বুঝায় এবং ইহার দ্বারা সেতুর ওজন জনিত চাপ অনেকটা জায়গায় ছড়াইয়া পড়ে। Pile foundation গঠনে কাঠের, কংক্রীটের অথবা ইস্পাতের গোলাকার বা চতুষ্কোণবিশিষ্ট স্তম্ভকে ধাক্কা দিয়া ভূগর্ভে শিলাসংস্তরে অথবা কোন ভার বহনোপযোগী স্তরে প্রবেশ করাইয়া দেওয়া হয় এবং এইগুলির উপরে superstructure স্থাপন করা হয়। কল্পিত সেতুর উচ্চতা যদি বেশী না হয় এবং ভূছিদ্র লব্ধ ভূতাত্ত্বিক তথ্য অনুকূলে হয়, সেস্থলে abutments-এর ভিত্তিগঠন spread footing প্রকারের করার সিদ্ধান্ত লওয়া হয় এবং ইঞ্জিনীয়ারগণ সেতুর design সেই অনুযায়ী প্রস্তুত করেন। তবে এই ভিত্তিমূলের তলদেশে কমপক্ষে পাঁচ মিটার অবধি ভূছিদ্র করিয়া নিম্নের বালুস্তরের অবস্থার সমভাব (Uniformity) সম্বন্ধে তথ্য সংগ্রহ করা

প্রয়োজনীয়। এমনকি নদীবক্ষে মোটা বালুর স্তর থাকিলে সেতুর পায়াগুলিও spread footing প্রকারের ভিত্তিমূলের উপর গাঁথিবার সিদ্ধান্ত লওয়া হয়। কিন্তু এক্ষেত্রে অন্ততঃ একটি বা দুইটি ভূছিদ্র বেশ গভীর করা বাঞ্ছনীয় যাহাতে শিলাসংস্তর বা কোন কঠিন মৃত্তিকাস্তর অবধি পৌঁছান যায় এবং এই প্রথায় ঐ বেধ অবধি ভূস্তরের একটা ধারণা করা যায়। প্রথমেই একটি ভূছিদ্র বেশ গভীর করিয়া খনন বিধেয় কারণ এই ভূছিদ্রকরণের সময়ে যদি অল্প নীচেই কোন নরম মৃত্তিকা স্তরের উপস্থিতির সম্বন্ধে আভাস পাওয়া যায়, সেক্ষেত্রে সেতুর design বদল করার প্রয়োজন হইতে পারে এবং ইহার নির্মাণে pile foundations প্রথা অবলম্বন করা বাঞ্ছনীয় হইতে পারে। তবে যদি ভূনিম্নে ও নদীবক্ষে শিলাসংস্তর অধিকমাত্রায় নতিযুক্ত (Dipping) হয়, সেক্ষেত্রে pile ধাক্কা দিয়া প্রবেশ করাইবার সময়ে ঐ স্তরগুলির নীচের দিকে স্খলিত হইয়া যাওয়ার প্রবণতা খুব বেশী হয় এবং ফলে ভূপৃষ্ঠ হইতে pile-এর ভূগর্ভে প্রবেশ করা সম্বন্ধে একটা ভ্রান্ত ধারণা সংগৃহীত হয়। সেই কারণে ভূছিদ্র হইতে পাওয়া core-গুলির পরীক্ষা করিয়া ভূনিম্নস্থ শিলাসমূহের নতির দিক এবং মাত্রা নির্ধারণ করা উচিৎ।

নদীবক্ষে সেতুর পায়াগুলির ভিত্তি স্থাপনের সময়ে নূতন প্রণালী (Channel) তৈয়ার করিয়া জলের গতির দিক পরিবর্তন করা হয় এবং ইহাতে নির্মাণকার্য্যে সুবিধা হয়। অনেকক্ষেত্রে নির্মাণ স্থানে প্রবাহিত জলের পরিমাণ বেশী হইলে coffer-dam গাঁথিয়া জলের গতিদিক পরিবর্তন করা হয়। এই coffer-dam নদীর বুকে বাঁধ নির্মাণের সময়েও গাঁথা হয় এবং ইহা সাধারণতঃ মৃত্তিকাদ্বারা Earth dam-এর নির্মাণ পদ্ধতি অনুযায়ী তৈয়ার করা হয়। যদিও এই coffer-dam গাঁথিবার মল উদ্দেশ্য হইল নির্মাণ স্থানটিকে শুষ্ক রাখা, কিন্তু কার্য্যক্ষেত্রে ইহা সম্পূর্ণ নিশ্ছিদ্র হয় না যে কারণে জলের অল্প বিস্তর ক্ষরণ coffer-dam-এর মধ্য দিয়া হইতে থাকে। সুতরাং গাঁথনির কাজের সুবিধার জন্য পাম্পের সাহায্যে ক্রমান্বয়ে জলের অপসারণ করা প্রয়োজন হয়। তবে সেতুর পায়াগুলির ভিত্তিমূল গভীর তলদেশ হইতে নির্মাণের সময়ে নদীগর্ভের জলকে coffer-dam-এর সাহায্যে অবরোধ করা যায় না। সেই কারণে কংক্রীটের বা ইস্পাতের নির্মিত একপ্রকার বাক্স পায়াগুলির স্থানে নামাইয়া দেওয়া হয় এবং ইহাতে ঐ স্থানগুলি সম্পূর্ণ শুষ্ক থাকে। এইগুলিকে Caisson বলে।

যে কোন সেতু নির্মাণের স্থান নির্ণয়ে আকাশ চিত্র (Air photo) বহু মূল্যবান তথ্য সরবরাহ করে। যে নদী বা জলনালী অতিক্রম করিবার জন্য সেতু নির্মাণের প্রয়োজন, সেই নদীর উৎপত্তি স্থান হইতে উহার উপত্যকায় প্রবেশের মুখ বরাবর স্থান এই দুই জায়গার মধ্যে যে কোন কল্পিত স্থানে সেতু নির্মাণ করিলে উহার দৈর্ঘ্য সাধারণতঃ কম হয়, বিশেষতঃ যদি উহা পার্বত্যাঞ্চল হয়। নদীর উপত্যকা যত সমতল হইতে থাকে উহার প্রস্থও স্বভাবতঃ বৃদ্ধি পায় এবং ফলে সেতুর দৈর্ঘ্যও বেশী হয়। সেতু নির্মাণের কল্পনা স্থির হইলে কল্পিতস্থানের জলবিজ্ঞান-জনিত (Hydrological) তথ্যগুলি যতদূর সম্ভব নির্ভুলভাবে আহরণ করা প্রয়োজন কারণ ঐ সংশ্লিষ্ট জলপ্রণালীর হাবভাবের (Attitude) আভাস ঐ তথ্যগুলি সরবরাহ করে এবং ইহার দ্বারা অনেক সময়ে সেতুটি কয়টি span-এর হওয়া প্রয়োজন তাহারও একটা ধারণা করা সম্ভব হয়।

নবম অধ্যায়

ভূস্খলন

ভূপৃষ্ঠের কোন অংশ তাহার উপরিস্থ ভারীগঠনগুলির সহিত অনুভূমিক (Horizontal), উর্ধ্বাধ (Vertical) অথবা তির্যক (Oblique) দিকে প্রাকৃতিক কারণ বশত: সঞ্চালিত হইলে উহাকে স্থানচ্যুতি (Displacement) বলে। ভূস্তরের স্থানচ্যুতি নানা কারণে ঘটিয়া থাকে। ইহার কোন অংশের উপর অনুভূমিক বা উর্ধ্বাধ দিকে চাপের জন্য ভাঁজ (Fold) বা চ্যুতির (Fault) সৃষ্টি হইলে সংলগ্ন ভূপৃষ্ঠে স্খলন হয়। ভূপৃষ্ঠের জলপ্রবাহ দ্বারা বা ভূজলের প্রভাবে ভূনিম্নে অনেক সময়ে বিবরের সৃষ্টি হয় এবং ফলে উপরিস্থ বিশাল মৃত্তিকার চাপড়া বা শিলাস্তর উপযুক্ত ঠেসের অভাবে ধ্বসিয়া পড়ে। এই প্রকারে কখনও কখনও ভূমির উপরের বিস্তৃত এলাকায় ভূস্খলন (Landslide) হয়। অনেকক্ষেত্রে ভূস্তরের কোন অংশ মূল অংশ হইতে বিযুক্ত হইয়া অতিশয় মন্থর গতিতে সরিয়া যাইতে থাকে। এইরূপ স্থানচ্যতিকে সৃপণ (Creep or flow) বলে। আবার কোন কোন ক্ষেত্রে দেখা যায় ভূমির উপরিভাগের এক অংশ পার্শ্বস্থ এলাকার সহিত তুলনায় আপেক্ষিকভাবে বসিয়া গিয়াছে। এইরূপ প্রাকৃতিক বিপত্তিকে অবনমন (Subsidence) আখ্যা দেওয়া হয়। উপরোক্ত কারণ ছাড়াও অনেক সময়ে ভূপৃষ্ঠে বিস্তৃত এলাকায় ভারী কলকারখানা নির্মাণের পর ভূস্তরের ঐ অংশ গুরুভারের চাপে বসিয়া যায়। এই জাতীয় স্থানচ্যুতিকে settlement বলা হয় এবং মূলত: উর্ধ্বাধ চাপই এই বিপত্তির সৃষ্টি করে। কখনও কখনও এই স্থানচ্যুতি উর্ধ্বাধ দিক ছাড়াও অনুভূমিক দিকে একই সাথে ঘটে এবং এই সকল ক্ষেত্রে প্রাকৃতিক চ্যুতির প্রভাব পরিলক্ষিত হয়।

ভূস্খলনের প্রকারভেদ ও উহার বর্ণনায় বিভিন্ন আখ্যা :— ভূস্খলন বা সাধারণ ভাষায় স্খলন (Slides) সম্বন্ধে এখন আলোচনা করা হইতেছে। ভূস্খলন বেশীর ভাগ ক্ষেত্রে ভপৃষ্ঠের ঢালু অঞ্চলে ঘটে। ইহা মৃত্তিকাচ্ছাদিত এবং শিলাময় স্থান উভয় ক্ষেত্রেই ঘটিতে দেখা যায়। পার্বত্যাঞ্চলে উহার অংশবিশেষ ঢালের দিকে অথবা পাহাড়ের গাত্র

ছেড়ে বাহিরের দিকে নিম্নস্থানে নামিয়া যায় এবং এই প্রাকৃতিক বিপর্যয়ে অনেক সময়ে বহু সম্পত্তির ক্ষতিসাধন হয় ও প্রাণহানি ঘটে। ভূপৃষ্ঠের স্খলিত এই অংশকে গোঁজ (Wedge) বলা হয় যদিও ইহার আকৃতি বাস্তবক্ষেত্রে গোঁজের মতন নহে। এই স্খলিত অংশ পাহাড়ের মূল অংশ হইতে তখনই বিচ্ছিন্ন হয় যখন এই দুই অংশের মধ্যে বন্ধনী শক্তি (বন্ধনীশক্তি) দুর্বল হইয়া পড়ে। ফলে ইহাদের মধ্যে স্খলনপৃষ্ঠ (Slip surface) গড়িয়া উঠে। যদিও এই ভূস্খলন মনুষ্যগোচরে হঠাৎ আসে, কিন্তু প্রকৃতিগত নিয়মে উহা স্থিতিশীল ও স্খলিত এই দুই অংশের মধ্যে কোন এক দুর্বল স্থানে অতি মৃদু ও মন্থরগতিতে কার্য্যকরী হয় এবং তাহার বাহ্যিক বিকাশ বহুদিন একপ্রকার অলক্ষিত থাকে। সাধারণতঃ প্রসার্যজনিত (Tensile) অথবা ঢাল (Slope) জনিত ফাটল এই স্খলনের উৎপত্তিস্থান এবং এই স্থান হইতে অতিশয় মৃদু সঞ্চালন আরম্ভ হইয়া ধীরে ধীরে slip surface প্রস্তুত হয়। বেশ কিছুকাল মৃদু সঞ্চালনের পর বন্ধনীশক্তি হঠাৎ লোপ পাওয়ায় স্খলন দ্রুত সম্পন্ন হয় এবং স্খলিত অংশ একটি বিশেষরূপ স্থলাকৃতি ধারণ করে। স্বভাবতঃ যে স্থান হইতে স্খলন সুরু হয় তাহার উপরিভাগ খাতের (Quarry) আকার ধারণ করে এবং ফাটের দ্বারা slip surface-এর সমস্ত পরিধি ব্যাপিয়া একটা বিশেষ ধারণের দৃশ্যের অবতারণা করে যাহা অন্যান্য প্রকারের স্থানচ্যুতি যথা creep বা flow হইতে অনেকটা ভিন্ন কারণ শেষোক্ত ক্ষেত্রে ফাট অবিচ্ছিন্ন অবস্থায় থাকে না। ভূস্খলনজনিত স্থানচ্যুত মৃত্তিকার চাঙড়া ও শিলাসমূহ উপর হইতে নীচে নামিয়া আসিয়া অবক্ষেপনের সৃষ্টি করে। বাস্তবক্ষেত্রে দেখা যায় যে কোন এক slip surface বরাবর স্খলন একাধিকবার হয় এবং ফলে নীচের দিকে অবক্ষেপন আকারে ক্রমশঃ বৃদ্ধি পাইতে থাকে। তবে স্খলনের দ্বারা বিকৃত এরূপ অনেক-ক্ষেত্রে দেখা যায় যে স্খলনের বৈচিত্র স্থানবিশেষের ভূ-আকৃতি এবং ভূতাত্ত্বিক অবস্থা ও স্থলাকৃতির উপরে বহুলাংশে নির্ভরশীল। স্থানীয় জলবায়ুর প্রভাবও স্খলনের ব্যাপারে যথেষ্ট পরিমাণে পরিলক্ষিত হয়। ইহা দেখা গেছে যে একই রকম ভূ-আকৃতি বিশিষ্ট স্থানে এবং সম-ভূতাত্ত্বিক অবস্থায় স্খলনের বৈচিত্র প্রায় একই প্রকারের হয় এবং ইহাকে আঞ্চলিক স্খলন-রূপ বলিয়া গণ্য করা হয়। আগ্নেয়গিরির অগ্ন্যুৎপাত বহুকাল (কয়েকশত বা হাজার বৎসর) বন্ধ থাকিলে তাহাকে মৃত বলিয়া গণ্য করা হয়, কিন্তু ভূস্খলনদ্বারা বিকৃত স্থানকে ভবিষ্যতে ঐরূপ প্রাকৃতিক

বিপর্যয়মুক্ত বলিয়া ঘোষণা করা যায় না কারণ slip surface বরাবর উপরের দিকে শিথিল মৃত্তিকার চাঙড় বা শিলাসমূহ জমায়েত হইতে থাকিলে কালক্রমে ঐসকল বস্তু নিজ নিজ ভারে চাল দিয়া নীচের দিকে গড়াইয়া আসে এবং এই ব্যাপারে বৃষ্টিপাত বা ভূজলের ক্ষরণ খুব সহায়তা করে।

মৃত্তিকা বা শিলাময় স্থানে স্খলন সাধারণতঃ এমন ঢালু জায়গায় ঘটে যেখানে বস্তুসমূহের মধ্যে বন্ধনীশক্তি প্রায় লোপ পাইয়াছে এবং পাহাড়ের যে পৃষ্ঠ বা তল দিয়া স্খলন হয় সেখানকার ঘর্ষণজনিত প্রতিরোধ ক্ষমতা নাই বলিলেই চলে। কয়েক প্রকারের clay জাতীয় সমসত্ত্ব (Homogeneous) ও সংসক্তি (Cohesion) পূর্ণ বস্তুসমূহে যন্ত্রী-চাপের প্রভাবে আকস্মিক ঝাঁকুনিসহ স্খলন ঘটে এবং স্খলিত অংশ দ্রুত নীচের দিকে নামিয়া যায়। যদি মৃত্তিকা বা শিলাসমূহ স্তরায়িত এবং নতিযুক্ত অবস্থায় থাকে, সেক্ষেত্রে নীচের স্তরের উপর দিয়া উপরিস্থ স্তর উভয়ের সংযোগস্থল বরাবর স্খলিত হয়। এই প্রকারের স্খলনকে translation slide বা slab slide বলে। Slab slide মৃদু ঢালেও ঘটে এবং ইহা বেশ দীর্ঘ এলাকা ব্যাপিয়া হয়। অসংবদ্ধ শিথিল মৃত্তিকা ও শিলাসমূহ ভারসাম্যের অভাবজনিত অবস্থায় পর্বতগাত্র হইতে ধ্বসিয়া পড়ার ঘটনা প্রায়ই নজরে আসে। এইরূপ স্খলনকে 'debris slide' আখ্যা দেওয়া হয় এবং পর্বতপ্রান্তে স্খলিত বস্তুসমূহের অবক্ষেপনকে 'talus' বলে। স্খলনের গভীরতা ও এলাকার দৈর্ঘ্যের উপর ইহার শ্রেণী ভাগ করা হয় যথা—(a) deep slide এবং (b) shallow slide; কিন্তু ইহাদের মধ্যে কোনরূপ সামাধার্য করা যায় না।

ভূস্খলনের হেতু নির্ধারণ

ভূস্খলনের মূল সূত্রপাত যে ভাবেই ও যেখানেই হউক না কেন, শেষ পর্য্যন্ত মাধ্যাকর্ষণ শক্তির বলে ইহার পূর্ণাঙ্গ অভিব্যক্তি হয়। স্খলনের প্রতিরোধক হিসাবে যন্ত্রীশক্তির কার্য্যকরী ক্ষমতা ভারসাম্যের অভাব হেতু মাধ্যাকর্ষণ শক্তির কাছে পরাজয় স্বীকার করে। তাহার উপর আর্দ্রতা-বশতঃ ঢালে অবস্থিত বস্তুসমূহের মধ্যে ঘর্ষণজনিতশক্তি ক্রমশঃ হ্রাস পায় এবং ফলে বন্ধনীশক্তির হ্রাস ও মাধ্যাকর্ষণশক্তির বৃদ্ধি এই দুই শক্তির সমন্বয়ে স্খলনের সূত্রপাত হয়। এই কারণে প্রবল বারিপাতের ফলে স্খলনের প্রবণতা বৃদ্ধি পায়। পাহাড়ী ঢালের স্থিতিশীলতা উপরোক্ত কারণসমূহের জন্য বিপর্যয়ের সম্মুখীন হয়। বিশেষতঃ যদি ঐসকল

স্থানের উপর দিয়া ভারী যানবাহন চলাচল করে অথবা ঐ অঞ্চলে ভূমিকম্প হয়—তাহা হইলে ভূস্খলনের প্রবণতা খুব বৃদ্ধি পায়। যে কোন স্থানে ভূস্খলনের কারণ অন্বেষণে ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের দায়িত্ব খুব বেশী। প্রথমে স্খলন-বিধ্বস্ত স্থান পরিদর্শন করিয়া তিনি ঐ স্খলনের অব্যবহিত কারণ নির্ণয় করিতে চেষ্টা করেন। এই অব্যবহিত কারণের মধ্যে উপরে বর্ণিত কারণগুলির যে কোন একটি বা দুইটি আকস্মিক কার্য্যকরী হইয়া থাকিতে পারে।

পূর্বের অধ্যায়ে বলা হইয়াছে যে পার্বত্যাঞ্চলে সমতলভূমির সহিত যোগাযোগকারী সড়ক সাধারণতঃ পাহাড়ের বহির্ভাগের গাত্রে নির্মাণ করা হয় এবং ইহার ঢালের মাত্রা এমন ভাবের হয় যাহাতে পদচারী ও যানবাহনের সাধ্যাতীত না হয়। তবে ঢালের মাত্রা সীমিত রাখা সত্বেও স্খলনের আশঙ্কা দূরীভূত হয় না। ইঞ্জিনীয়ারগণ ঢালের নিরাপত্তার জন্য তাঁহাদের বিজ্ঞানসম্মত পদ্ধতি অবলম্বন করিয়া ঢালের মাত্রা নির্ধারণ করেন এবং এই বিষয়ে সিদ্ধান্ত গ্রহণের পূর্বে ঐ কল্পিত ঢালে মৃত্তিকা বা শিলাসংস্তর সমূহের মধ্যে বন্ধনীশক্তির মাত্রা মাধ্যাকর্ষণজনিত শক্তি অপেক্ষা বেশী কি না তাহা বিশদরূপে নিরূপণ করেন। কিন্তু দেখা গেছে যে ইঞ্জিনীয়ারগণ ঢালের যোগ্যতার পক্ষে অভিমত প্রকাশ করিলেও ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের দ্বারা স্থান পরীক্ষা অত্যাবশ্যক। কারণ প্রথমতঃ শিলাসংস্তরগুলি ফাট, ভাঁজ, চ্যুতি এবং সন্ধিযুক্ত কি না সে বিষয়ে সমীক্ষার বিশেষ প্রয়োজন। তদুপরি যদি শিলাগুলি স্তরের আকারে থাকে, সেস্থলে স্তরগুলির নতির দিক এবং পরিমাণ জানা দরকার। নতির দিক পাহাড়ের ভিতরদিকে হইলে ঐ শিলাস্তরসমূহ সন্ধিযুক্ত হইলেও সাধারণতঃ কোন বিপর্যয় সৃষ্টি করে না। তবে যদি নতির দিক ঢালের দিকে (এবং পাহাড়ের বহির্দিকে) হয় ও নতির পরিমাণ ঢালের পরিমাণ অপেক্ষা কম হয় সেক্ষেত্রে স্খলনের আশঙ্কা খুব বেশী থাকে। তবে বিভিন্ন প্রকারের শিলাস্তরের মধ্যে স্খলনের সম্ভাবনা নতির পরিমাণের (Angle of repose) কম বেশী হওয়ার উপর নির্ভর করে। কিন্তু নতির পরিমাণ যদি 45° ডিগ্রী বা ততোধিক হয় তাহা হইলে বিভিন্ন স্তরের মধ্যে স্খলন হইবার আশঙ্কা থাকে না বলিলেই চলে। ভূজলের কোনরূপ ক্ষরণ এইরূপ নতিযুক্ত শিলাস্তরগুলির মধ্য দিয়া ঘটিতে থাকিলে ঐরূপ স্থানে ঢালবিশিষ্ট সড়কে স্খলন হওয়া খুব স্বাভাবিক। এই প্রসঙ্গে ভূজলের স্খলন ঘটাইবার আর একটি প্রবণতা সম্বন্ধে

আলোচনা করা হইতেছে। যদি ঐ ভূজলের aquifer পর্বতগাত্রে ঢালবিশিষ্ট সড়ক নির্মাণের স্থানের লেভেলের খুব নিকটেই থাকে এবং কোন নিশ্ছিদ্র শিলাস্তর দ্বারা আচ্ছাদিত থাকে, এরূপ অবস্থায় ঋতুভেদে ভূজলের লেভেল ঐ aquifer-এ উঠা নামা করে এবং প্রবল বৃষ্টিপাতের পরে ঐ ভূজলের লেভেল উপরের দিকে উঠিয়া আসিয়া নিশ্ছিদ্র আচ্ছাদনের উপর চাপ সৃষ্টি করে এবং বহুদিক হইতে ঐ আচ্ছাদন ভেদ করিয়া স্খলন ঘটায়। সুতরাং ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ তাঁহার অনুসন্ধান কার্য্যসূচীর মধ্যে এই প্রসঙ্গটিকেও তালিকাভুক্ত করেন। বিশেষজ্ঞ এই অনুসন্ধান কার্য্য করিবার সময়ে ঐ অঞ্চলে কোনরূপ চ্যুতি আছে কি না এবং থাকিলে ভবিষ্যতে উহার পুনরায় সক্রিয় হইয়া উঠিবার সম্ভাবনা আছে কি না সে বিষয়েও যথাযথ সমীক্ষার দ্বারা তথ্য সংগ্রহ করেন।

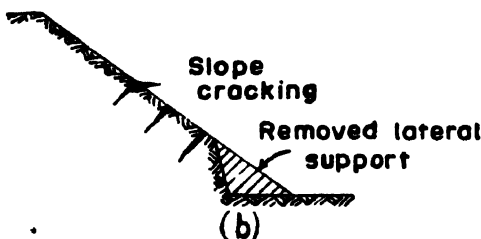
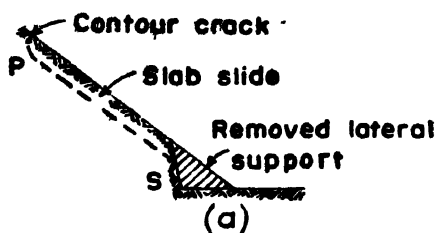
ভূস্খলন প্রতিরোধ ব্যবস্থা

পার্বত্যাঞ্চলে চালুরাস্তার স্থিতিশীলতা ও নিরাপত্তার সম্বন্ধে ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানের ফলে স্খলন রোধ করা অনেক সময়ে সম্ভব হয়। তবে শিলা-সংস্তর অনেকক্ষেত্রে ফাট ও সন্ধিযুক্ত থাকায় বৃহদাকারের শিলা টুকরা-সমূহ মাধ্যাকর্ষণশক্তির প্রভাবে পাহাড়ের উপরিভাগ হইতে তলদেশে গড়াইয়া পড়ে। এই প্রকারের পতনের (Rock fall) জন্য যন্ত্রীশক্তির অভাব দায়ী এবং ইহা কোনরূপ slip surface-এর সৃষ্টি করে না। পাহাড়ী এলাকায় ভ্রমণকালে প্রায়ই দেখা যায় যে পাহাড়ের চূড়ার কাছে অথবা ধারে পাশে বৃহদাকারের কয়েকশত টন ওজনের প্রস্তরখণ্ড এমন ঝুঁকিয়া আছে যে উহার পতন যে কোন সময়ে বিশেষতঃ ভারী বর্ষণের পরে সম্ভব হইতে পারে।

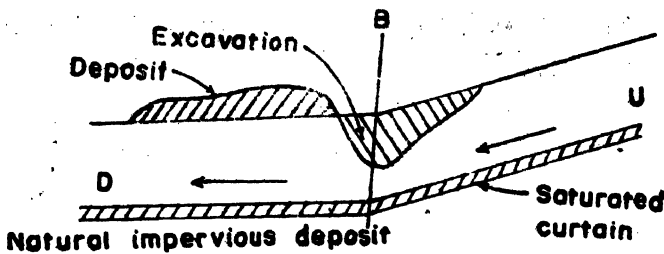
এখন ভূস্খলন কিভাবে প্রতিরোধ করা সম্ভব হইতে পারে সেই বিষয়ে কিছু আলোচনা করা হইতেছে। সাধারণতঃ ভূস্খলনের সম্ভাবনার পূর্বাভাস দেওয়া কঠিন যদি না চালু জায়গার অনুভূমিক ও আপেক্ষিক গতির কোন নিদর্শন পাওয়া যায় অথবা ফাট দেখা দেয়। যেক্ষেত্রে কোনরূপ ভূস্খলনের আশঙ্কা করা হয়, সে স্থলে ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞ প্রথমে স্খলন ঘটাইবার দুইটি প্রধান শক্তি যথা মাধ্যাকর্ষণশক্তি ও ভূজলের আচরণ সম্বন্ধে অনুসন্ধান করেন। এইগুলি ছাড়াও সন্ধি, চ্যুতি, সংস্তরায়ণ (Bedding), পত্রায়ণ (Foliation) ইত্যাদি ভূতাত্ত্বিক চরিত্রাবলী সম্বন্ধেও

বিশেষ পরীক্ষা করার প্রয়োজন হয় যদি স্থানটি শিলাময় হয় এবং শিলাগুলি স্তরান্বিত থাকে। মৃত্তিকা বা শিলাময় স্থানে পাহাড়ের ঢালু গায়ে মাধ্যাকর্ষণ জনিত শক্তির প্রভাবে স্খলন হইলে উহার পরিমাণ বৃদ্ধির জন্য অনেক সময়ে ঐ সকল স্থানে রেলপথ, রাজপথ বা বৃহদাকার গৃহনির্মাণ কর্মকে দায়ী করা হয়। সুতরাং পাহাড়ী অঞ্চলে ঢালু জায়গায় কোনরূপ স্খলনের সম্ভাবনা সন্দেহ করিলেই উহা ওজনজনিত চাপের জন্য কি না সে বিষয়ে অনুসন্ধান সর্বপ্রথমে কর্তব্য। তৎপরে ঐ স্থানে ভূজলের আচরণ বিষয়ে তথ্য সংগ্রহ করা প্রয়োজনীয় কারণ এই ভূজল নানাভাবে মৃত্তিকা বা শিলাস্তরের মধ্যে প্রবাহিত হইয়া উহাদের মধ্যে বন্ধনীশক্তির বিনাশ সাধন করে এবং স্খলনের সহায়তা করে। ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষার দ্বারা সম্ভাব্য স্খলনের মূল কারণ নির্ধারিত হইলে পর ঐ স্খলনের প্রতিরোধকল্পে ব্যবস্থা গ্রহণ করা সম্ভব হয়। কারণ বিশেষে প্রতিরোধ ব্যবস্থাও ভিন্ন হয়। পূর্বেই বলা হইয়াছে যে ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞকে পাহাড়ী অঞ্চলের ঢালু রাস্তার স্থিতিশীলতার নির্ণয় করা ছাড়াও ঐ সড়কের সংলগ্ন খাড়াইয়ের উপরে অবস্থিত গৃহাদির নিরাপত্তা সম্বন্ধেও অনুসন্ধান করিতে হয়। তিনি ঐ সকল গঠনের সম্ভাব্য স্খলনের জন্য দায়ী কারণ সমূহের বিশ্লেষণ করেন এবং ভূতাত্ত্বিক ত্রুটীসমূহ দূরীকরণে বিভিন্ন পন্থাবলম্বনের প্রস্তাব করেন। স্খলনের দূরীকল্পে প্রথমেই পাহাড়ের ঢালের অব্যবহিত খাড়াই জায়গায় কোনরূপ ভারী গঠনকার্য্য নিষেধ করা হয় এবং অবস্থিত গঠন সমূহের অঙ্গচ্ছেদ করিয়া ভার লাঘবের উপদেশ দেওয়া হয়। ইহা ছাড়া ঐ খাড়াই জায়গার পাদদেশে ঠেস গাঁথিয়া ধ্বস নামার প্রতিরোধ করা হয়। এই প্রকারের গঠনের নাম ধারক প্রাচীর (Retaining wall) এবং ইহা ত্রিভুজের (Triangular) আকারের হয়। পর পৃষ্ঠার চিত্র দুইটি হইতে উপরে বর্ণিত পাহাড়ী ঢালে ফাট ধরায় এবং পার্শ্ব ঠেস অপসারণের জন্য কিরূপ স্খলন সাধিত হয় তাহা বুঝা যাইবে। Fig. 27 (a) slab slide-এর উদাহরণ এবং ঐ চিত্রে 'PS' potential slip surface-কে নির্দেশ করে। 'S' অক্ষরের স্থান বরাবর retaining wall গাঁথিয়া স্খলন প্রতিরোধ করা সম্ভব হয়।

Retaining wall ত্রিভুজের আকারের হওয়ায় উহার অতিভুজের (Hypotenuse) নতি (Dip) পাহাড়ের খাড়াইয়ের দিকে থাকে। ঢালের জন্য যে স্থানের স্খলনের প্রতিরোধকল্পে এই retaining wall গাঁথা হয় উহার আয়তন এবং অতিভুজের খাড়াইয়ের দিকে নতির পরিমাণ

Fig. 27

Sliding caused by the removal of lateral support.

ইঞ্জিনীয়ারগণ উর্দ্ধ্বাধ ও পার্শ্ব চাপের মাত্রানুযায়ী স্থির করেন। স্খলনের প্রতিরোধকল্পে আর একটি বিশেষ ব্যবস্থা হইতেছে চালু জায়গার উপরে জলপ্রবাহ বন্ধ করা। পাহাড়ের উপরিভাগ হইতে বৃষ্টির জল প্রবলবেগে নামিয়া চালু সড়কের পথে নীচের দিকে প্রবাহিত হয় এবং অতিবৃষ্টির ফলে এই নিম্নগামী জলের বেগ এত বৃদ্ধি পায় যে উহার দ্বারা মার্জন (Scour) জনিত প্রভূত ক্ষতিসাধন হয় এবং কালক্রমে উহা স্খলনের সহায়ক হয়। ইহা ছাড়াও অনেক সময়ে পাহাড়ী রাস্তা ধরিয়া উপরের দিকে যাইবার কালে দেখা যায় যে পাহাড়ের গাত্র হইতে জলের ধারা নিষ্কাশিত হইয়া ঐ রাস্তার উপর দিয়া নীচের দিকে বহিয়া যাইতেছে। বর্ষাকালে এই জলধারার ক্ষরণের মাত্রা বৃদ্ধি পায় এবং অবিরাম প্রবাহের ফলে চালু জায়গার ক্ষতিসাধন করে। পর পৃষ্ঠার চিত্রটিতে দেখা যাইবে উপরে বর্ণিত উপায়ে পাহাড়ের চালু জায়গায় ভাঙ্গন ধরিলে পরে তাহা বিরূপ স্খলনে পরিণত হয়।

Fig. 28

Slide at the break of a slope ('U' is upstream portion and 'D' is downstream portion)

সেই কারণে বৃষ্টির জল বা ভূজল যাহাতে পাহাড়ী চাল বিশিষ্ট স্থানের ক্ষতিসাধন না করে, সেজন্য পাহাড়ের গা ঘেঁসিয়া এবং চালের উপরে রাস্তার পাশ দিয়া জল নীচের দিকে নিষ্কাশন করাইবার ব্যবস্থারূপে নালী প্রস্তুত করিয়া দেওয়া হয় এবং এইগুলি বেশীর ভাগক্ষেত্রে পাকাপাকি ভাবে গাঁথিয়া দেওয়া হয়।

উপরোক্ত উপায়গুলির ব্যবহার স্খলনের প্রতিরোধকল্পে খুবই ফলপ্রসূ। ভূস্খলন হইয়াছে এরূপ স্থানে সত্বর অনুসন্ধান করিয়া স্খলনের কারণ সম্বন্ধে তথ্য আহরণ করা হয় এবং উপরে বর্ণিত প্রধান কারণগুলির কোনটি বিশেষভাবে দায়ী তাহা নির্ধারণ করিয়া উহার প্রতিরোধ ব্যবস্থা গ্রহণ করা হয় যাহাতে ভবিষ্যতে ঐ স্থানে আর স্খলন না হয়। তবে এই প্রতিরোধ ব্যবস্থাকল্পে ব্যয়ের হিসাব সকল ক্ষেত্রেই করা হইয়া থাকে এবং স্খলনের দ্বারা ক্ষতিগ্রস্ত স্থানের পুনর্বিন্যাস কার্য্য খুব ব্যয়বহুল পরিকল্পনা হইয়া পড়িলে নূতন পথের alignment ঠিক করা হয়।

সৃপণ

এইবার সৃপণ (Creep) সম্বন্ধে কিছু আলোচনা করা যাক্। এই প্রকারের স্থানচ্যুতি এত ধীর গতিতে সম্পন্ন হয় যে ইহা বেশ কিছুদূর অগ্রসর না হওয়া পর্য্যন্ত উপলব্ধি করা সম্ভব হয় না। সাধারণতঃ ভূপৃষ্ঠের নিম্নে অল্প কিছুদূরের মধ্যে ইহার কার্য্যকরী ক্ষমতা সীমাবদ্ধ থাকে এবং নিম্নস্থ শিলাস্তর অথবা মৃত্তিকাস্তরের উপরে স্থিত স্তর বা স্তরগুলি একে অন্যের তুলনায় অতি মন্থর গতিতে সরিতে থাকে। এই

স্পপণ কার্য্যকরী হওয়ার জন্য উপরিস্থ কোন গুরুভারের প্রয়োজন হয় না এবং ইহা সমসত্ব বা বৈসাদৃশ্যপূর্ণ দুইটি স্তরের মধ্যেও পরিলক্ষিত হয়। ইহা দুই বা ততোধিক স্তরের মধ্যে যন্ত্রীশক্তি আপেক্ষিক বৃদ্ধি বা হ্রাস পাওয়ায় কার্য্যকরী হইয়া উঠে। ঘর্ষণজনিত শক্তিরও আপেক্ষিক কম বেশী হওয়ায় ইহার কর্মতৎপরতা বৃদ্ধি পায়। বৈশাদৃশ্যপূর্ণ মৃত্তিকা বা শিলাস্তর সমূহের মধ্যে প্রধানতঃ নিম্নস্থ কঠিন স্তরের উপর দিয়া অপেক্ষাকৃত নরম স্তরের স্পপণ কার্য্যকরী হয়। ঐ স্থানের ঢালের মাত্রা খুব অল্প হইলেও, এমন কি প্রায় সমতলভূমিতে অথবা দুই স্তরের সংযোগস্থল বক্র (Curved) হইলেও স্পপণ হইতে দেখা যায়। উপরিস্থ স্তরের স্পপণ অনেক সময়ে এককভাবে না হইয়া বিভিন্ন ছোট ছোট অংশে বিভক্ত অবস্থায় হইয়া থাকে এবং ভূস্খলনের ন্যায় এক্ষেত্রেও স্থানীয় স্থলাকৃতির উপর ঐ স্পপণের দিক আপনা হতেই নির্ণীত হয়। স্পপণের প্রবণতা বায়ুমণ্ডলীয় শক্তিসমূহের দ্বারা খুব বেশী প্রভাবান্বিত হয় এবং ইহার ফলে বায়ুমণ্ডলের বাষ্পমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে স্পপণের মাত্রা বৃদ্ধিও উপলব্ধি করা যায়। শুষ্ক ঋতুতে স্পপণ প্রায় বন্ধ হইয়া যায়, তবে স্পপণের দ্বারা স্থানচ্যুত মৃত্তিকা বা শিলাস্তর মন্থরগতিতে সরিতে থাকাকালীন অতিরিক্ত ঢালু জায়গায় আসিয়া উপনীত হইলে স্তর-গুলির মধ্যে বন্ধনীশক্তি হঠাৎ লোপ পায় এবং বৃহদাকারের ভূস্খলন হয়। মৃত্তিকা বা শিলাস্তরের স্পপণ ছাড়াও পাহাড়ের নিম্নদেশে বা যে কোন ঢালু জায়গার তলদেশে ভগ্ন প্রস্তর ইত্যাদির স্তূপ জমায়িত অবস্থায় অতি মন্থর গতিতে সরিয়া যায় এবং উহারা সুসংবদ্ধ না হওয়ায় কখনও কখনও ঢালের বৃদ্ধিহেতু অথবা ওজনজনিত চাপে ভাঙ্গিয়া পড়ে। এইরূপ প্রাকৃতিক বিপর্যয়ে পাহাড়ী রাস্তা এবং ছোট ছোট নদীগুলিতে আটক সৃষ্টি হয় এবং ফলে নদীগুলির গতিপথের পরিবর্তন সাধিত হয়। যে কোন ঢালু জায়গার স্থিতিশীলতা সম্বন্ধে অনুসন্ধানকালে মৃত্তিকাস্তরের স্পপণের প্রবণতা ও মাত্রা বিশেষভাবে নিরূপণ করা প্রয়োজন হয়, কারণ এইসব ত্রুটীপূর্ণ স্থানে ভারী গৃহাদি নির্মাণ না করাই বাঞ্ছনীয়। তবে যদি কোন বিশেষ কারণে ঐ নির্মাণকার্য্য অতিশয় প্রয়োজনীয় হয়, সেক্ষেত্রে ঐ গঠনের ভিত্তিস্থাপন সাধারণতঃ একটু গভীর এবং স্পপণের প্রবণতা হইতে মুক্ত এরূপ স্তরে করা হয়। পাহাড়ে ঢালু জায়গায় স্পপণ হইতেছে কি না তাহার নির্ধারণে ঐ স্থানের ঝুঁকে পড়া বৃক্ষাদি পরোক্ষভাবে সহায়তা করে। ঢালের উপর দিকে গাঁথা retaining

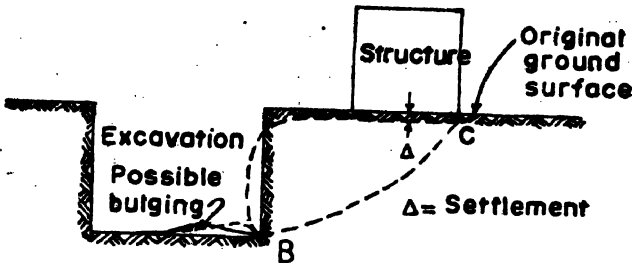
wall-এ ফাটল দেখা দিলে অথবা কোন পোঁতা খুঁটির তলদেশকে হেলিতে দেখিলে ঐ স্থানে স্খলণ হইতেছে বলিয়া গণ্য করা হয়।

স্খলনের গতি যেমন অতি মন্থর, ইহার বিপরীত ফল পরিলক্ষিত হয় earth flow-এর ক্ষেত্রে। কঠিন মৃত্তিকা বা শিলাসমূহ অনেক সময়ে তরল সামগ্রীর মতন গড়াইয়া পড়ে এবং এই প্রাকৃতিক বিপর্যয়কে earth flow আখ্যা দেওয়া হয়। বায়ুমণ্ডলের বাষ্পমাত্রার হঠাৎ বৃদ্ধিহেতু এই বিপর্যয় ঘটে। ইহার প্রবণতা বৃদ্ধি করিতে ভূজলের ক্ষরণ খুবই সহায়ক হয়। অনেক সময়ে নিকটেই কোন pile driving-এর জন্য জমিতে যে জোরে ধাক্কা দেওয়া হয় তাহার ফলে চালু জায়গায় হঠাৎ বিভিন্ন স্তরের মধ্যে স্থানচ্যুতি ঘটে। ভূমিকম্পের ফলেও এইরূপ স্থানচ্যুতি ঘটিতে দেখা যায়। স্তরগুলির মধ্যে ভূজলের প্রবাহহেতু পিচ্ছিল অবস্থার সৃষ্টি হওয়ায় এইরূপ earth flow-এর প্রবণতা বৃদ্ধি পায়। Earth flow-এর কয়েকটি বিশেষ উদাহরণ যথা—(a) 1898 খ্রীষ্টাব্দে কানাডার Quebec সহরের 65 কিলোমিটার পূর্বে St. Thuribe flow ; (b) Norway-র Vaerdalen-এ 1893 খ্রীষ্টাব্দে সংঘটিত flow ; জাপানেও ভূমিকম্পের ফলে এইরূপ earth flow-এর কয়েকটি দৃষ্টান্ত আছে।

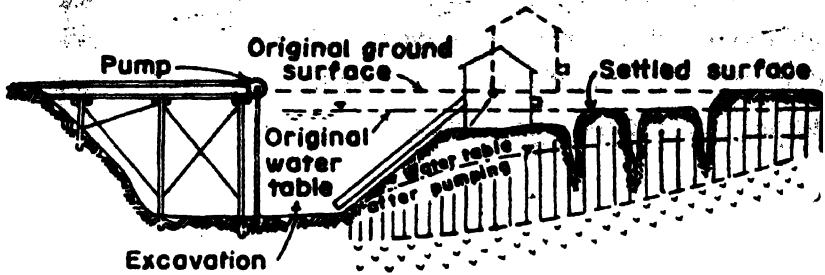
অবনমন

অবনমন (Subsidence) ও settlement-এর মধ্যে মূলতঃ কোন পার্থক্য দেখা যায় না। উভয়ক্ষেত্রেই গৃহাদি ভারী গঠনগুলি নিজ নিজ ভারে ভূপৃষ্ঠ হইতে নীচের দিকে বসিয়া যায়, তবে settlement-এর ক্ষেত্রে এই নিম্নগামী গতি এত অল্প যে ইহার মাত্রা নিরূপণ করা বেশ কিছু সময়ের ব্যবধানে সম্ভব হয়। যে স্থানে settlement হইতেছে বলিয়া সন্দেহ করা হয়, সে স্থানের কয়েকটি চিহ্নিত অংশের লেভেল নিকটস্থ অপর কোন স্থিতিশীল বস্তুর লেভেল-এর সহিত নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে মাপ করিলে উহার মাত্রা জানা যায়। সার্ভে অফ ইণ্ডিয়ার প্রস্তুত মানচিত্রে সমতলিকা (Bench Mark) দেওয়া থাকে এবং ইহাদের সমুদ্র পৃষ্ঠ (Sea level) হইতে উচ্চতার (Elevation) পরিমাণের উল্লেখ থাকে। এই Bench Mark-এর উচ্চতার সহিত তুলনার দ্বারা settlement-এর মাত্রা নিরূপণ করা সহজসাধ্য হয়। কার্য্যক্ষেত্রে দেখা গেছে যে বালুকাময় ভিত্তিস্থানের উপর বৃহদাকার ভারী গঠনসমূহের নির্মাণকালেই অল্পবিস্তর settlement হইতে থাকে এবং অল্পকাল পরেই উহারা স্থিতিশীল

হয়। কিন্তু ভিত্তিস্থানে clay জাতীয় মৃত্তিকা থাকিলে settlement বহু বৎসর ধরিয়া হইতে থাকে, তবে উহার মাত্রা ক্রমশঃ ক্ষীণ হইতে ক্ষীণতর হইয়া পড়ে। নিজ নিজ ভারজনিত settlement ছাড়াও অনেকক্ষেত্রে কোন বৃহদাকার ইমারত বা ভারী কারিগরী গঠনের অতি নিকটে কোন গভীর খাত খননের জন্য উহার ভিত্তিস্থানে পার্শ্বচাপ হ্রাস পায় এবং ফলে ঐ খাতের দিকে settlement-এর প্রবণতা দেখা দেয়। নিম্নের চিত্রটিতে এইরূপ settlement কিভাবে সংগঠিত হয় তাহা দেখান হইয়াছে।

Fig. 29

Settlement caused by excavation (BC is the sliding surface)

এমন কি ঐ বৃহদাকার গঠনাদির সংলগ্ন খাতের ভিতরের দেওয়ালেও নিম্নদেশে স্ফীতি (Bulge) দেখা দেয়। ইহা ছাড়াও জলপীঠের (Water table) লেভেলের হ্রাস বৃদ্ধিহেতু ভূপৃষ্ঠে অবস্থিত ভারী গঠনগুলির settlement পরিলক্ষিত হয় এবং ঐ সকল গঠনগুলির বিভিন্নস্থানে ফাট দেখা দেয়। এইরূপ ফাট settlement-এর নিদর্শন এবং পূর্বেই পঞ্চম অধ্যায়ে ভূজলের পাম্প দ্বারা আহরণ সম্বন্ধে আলোচনা করিবার সময়ে ইহাও বলা হইয়াছে যে ভূনিম্নে জলপীঠে পাম্পের দ্বারা অধিক চাপে জল প্রবিষ্ট করাইয়া এই সকল ফাটের সম্পূর্ণ বিলোপ সাধন করা সম্ভব হইয়াছে। অর্থাৎ ভূজলবাহী সরন্ধ্র শিলা ও মৃত্তিকাসমূহের রন্ধ্রগুলি পুনরায় জলপূর্ণ হওয়ায় ঐ শিলা ও মৃত্তিকাস্তরগুলি পূর্বাবস্থা ফিরিয়া পায় এবং ঊর্ধ্ব চাপ সৃষ্টি করে। ফলে settlement-এর দ্বারা সৃষ্ট ফাটগুলি নিম্নস্থ স্তরসমূহের উত্তোলনহেতু আপনা হতেই মিলাইয়া যায়।

Fig. 30

Settlement and cracking due to pumping.

উপরের চিত্রটিতে পাম্পিং-এর জন্য ভূজলের লেভেল নামিয়া যাওয়ায় ভূপৃষ্ঠে অবস্থিত ইমারতসমূহের কিরূপ settlement হয় তাহা দেখান হইয়াছে। অতি মিহি বালুকাকণায় ভিত্তিস্থানের উপর ভারী গঠনসমূহ অনেক সময়ে নীচের ও পাশের দিকে স্থানচ্যুতির প্রবণতা দেখায়। ইহা ভিত্তিস্থানে অবস্থিত ঐরূপ উপাদানের যন্ত্রীশক্তি লোপ পাওয়ার জন্য সাধারণতঃ ঘটে। এমন কি বড় বড় সেতুর পায়াকে এই কারণে স্থানচ্যুত হইতে দেখা গিয়াছে। ইহার নিবারণকল্পে অনেক সময়ে ঐস্থলে সিমেণ্ট grouting করিয়া সুফল পাওয়া গেছে।

রোম দেশে Pisa নগরের জগৎ বিখ্যাত Leaning Tower 1174 খ্রীষ্টাব্দ হইতে 1350 খ্রীষ্টাব্দের মধ্যে তৈয়ার হয় এবং ইহার গাঁথনি যখন প্রায় দশ মিটার উচ্চতা অবধি করা হইয়াছিল তখনই ইহার হেলিয়া পড়ার সূচনা দেখা দেয়। যদিও ইহার হেলিয়া পড়ার সঠিক কারণ নির্ণয় হয় নাই, তথাপি অনুমান করা হয় যে ইহার ভিত্তিস্থানে যন্ত্রীশক্তির অবসাদ ঘটিয়াছিল।

Subsidence হঠাৎ ঘটিতে পারে এবং উহার প্রচণ্ডতার মাত্রাও খুব বেশী হইতে পারে, তবে অনেকক্ষেত্রে ইহা ক্রমশঃ ঘটিতে দেখা যায়। প্রাকৃতিক শক্তিসংযোগ অথবা মনুষ্যকৃত কর্মের ফলে ইহা ঘটে। প্রাকৃতিক কারণের মধ্যে নদী বা সাগরের জলের দ্বারা তটভূমির নিম্ন-দেশের ক্ষয়সাধন ও উপরিভাগের আনুষঙ্গিক অধোগমন উল্লেখযোগ্য। পাম্পের সাহায্যে ভূজলের অতিরিক্ত এবং অনিয়মিত আহরণের দ্বারা ভূপৃষ্ঠের settlement-এর ন্যায় অধোগমনও (Subsidence) হইতে দেখা

যায়। Subsidence সাধারণতঃ বিস্তৃত এলাকা জুড়িয়া হয়। ভূনিম্নে খনিকর্ম অথবা সুড়ঙ্গগঠন প্রভৃতি মনুষ্যকৃত কর্মের ফলস্বরূপ অনেকক্ষেত্রে subsidence ঘটে। ইহার প্রতিরোধকল্পে খনিকর্মে বিশেষতঃ কয়লা-খনির মধ্যে শূন্য স্থানগুলি (Goaf) বালুকণার দ্বারা ভরাট (Sand stowing) করিয়া দেওয়ার পদ্ধতি আছে।

দশম অধ্যায়

কারিগরী গঠন ও বৃহদাকার অট্টালিকাসমূহের ভিত্তিস্থানের মূল্যায়ন

বাঁধ ও সেতু নির্মাণের ন্যায় বৃহদাকার অট্টালিকাসমূহ ও ভারী ইস্পাত এবং অন্যান্য কারিগরী গঠনগুলির (Heavey engineering structures) স্থাপনার জন্য স্থান নির্ণয় বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ বিষয়। তবে এই সকল গঠনকার্য্যের জন্য স্থান নির্বাচনের খুব বেশী অবকাশ থাকে না কারণ এইসকল ব্যাপারে বাণিজ্য ও অর্থনীতির প্রভাব অধিক পরিমাণে বিরাজ করে। সুতরাং এইদিকে দৃষ্টি রাখিয়া যতদূর সম্ভব স্থিতিশীলতাপূর্ণ স্থাননির্ণয়ে ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের উপর দায়িত্ব ন্যস্ত হয়। ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান কার্য্য অনেক সময়ে কল্পিত ইমারত বা কারখানা ইত্যাদির প্রস্তাবিত নির্মাণ ব্যয়ের সহিত ঘনিষ্ঠভাবে সীমাবদ্ধ, কারণ বৃহদাকার কারখানা ইত্যাদি গঠনের জন্য ব্যয়ের মাত্রা এত অধিক হয় যে সেক্ষেত্রে ঐসকল গঠনের ভবিষ্যৎ নিরাপত্তা সম্বন্ধে সুনিশ্চিত হইবার জন্য ভতাত্ত্বিক অনুসন্ধানে ব্যয়নির্বাহ সমীচীন বলিয়া বিবেচিত হয়। বিশেষজ্ঞের এই স্থাননির্ণয় ও উহার স্থায়িত্ব সম্বন্ধে সমীক্ষা আরম্ভের আগে ইঞ্জিনীয়ারদের সহিত যোগসূত্র স্থাপনের প্রয়োজন হয় এবং কল্পিত গঠনসমূহের ওজন-জনিত চাপের পরিমাণ কি হইবে এবং ভিত্তিস্থাপনের বেধ (Depth) কতটা হইবে এইসকল বিষয়ে একটা মোটামুটি ধারণা করিবার প্রয়োজন হয়। এইসকল তথ্য আহরণের পর কারিগরী ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানের কার্য্যতালিকা প্রস্তুত করেন এবং যথা নিয়মে ভূপৃষ্ঠে ও ভূনিম্নে তাঁহার অনুসন্ধানকার্য আরম্ভ হয়। ইহা বলা বাহুল্য যে অপেক্ষাকৃত হাল্কা ওজনের কারীগরী গঠনগুলির নির্মাণে ভিত্তিস্থানের অনুসন্ধানকার্য্য খুব ব্যাপক হয় না। কারণ ইহাদের ভিত নাতিগভীর হয়। তবে কেবলমাত্র ওজনজনিত স্থিতীয় (Static) শক্তি ছাড়াও বড় বড় কারখানায় বিভিন্ন প্রকারের যন্ত্রাদি চালনের সময়ে গতীয় (Dynamic) শক্তির চাপ ঐসকল কারখানায় ভিত্তিস্থানের উপর প্রযুক্ত হয় এবং এই গতীয় চাপের মোট পরিমাণের সম্বন্ধে একটা আভাস পাওয়া বিশেষ

আবশ্যক। কারণ এই দ্বিতীয় ও গভীর চাপের সহনক্ষমতা ঐ গঠনগুলির ভিত্তিস্থানের থাকা একান্ত প্রয়োজনীয়। সুতরাং ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ তাঁহার অনুসন্ধানকার্য্যের জন্য উপযুক্ত geotechnical প্রণালীগুলি ব্যবহার করার প্রাক্কালে উপরোক্ত তথ্যগুলি ইঞ্জিনীয়ারদের নিকট হইতে আহরণ করেন। ইস্পাত কারখানা এবং অনুরূপ বিশাল ও ভারী যন্ত্রাদিবিশিষ্ট কারখানার ভিত্তিস্থাপনের জন্য সাধারণতঃ ভূপৃষ্ঠের বেশ কিছু গভীর তলদেশ অবধি পরীক্ষা করা হয়। অবশ্য বিশেষজ্ঞের ঐ অঞ্চলের ভূতাত্ত্বিক বৈশিষ্ট্যসম্বন্ধে একটা ধারণা থাকা খুবই বাঞ্ছনীয়, কারণ ইহার দ্বারা তাঁহার অনুসন্ধান কার্য্যসূচী প্রভাবান্বিত হয়। স্থানীয় ভূতাত্ত্বিক গুণাগুণ জানা থাকিলে অনেকক্ষেত্রে বিশদ অনুসন্ধানকার্য্য চালাইবার প্রয়োজন হয় না। কেবল শিলাময়স্থানে কঠিন ও অক্ষত শিলাস্তরের বেধ নিরূপণ ভূছিদ্রকরণের দ্বারা করা হয় এবং সংগৃহীত core-এর পরীক্ষার দ্বারা ঐ শিলার ভারবহন ক্ষমতা ও ভঙ্গুর প্রবণতা সম্বন্ধে তথ্য সংগ্রহ করা হয়। মৃত্তিকাবহুল স্থানে মৃত্তিকাচ্ছাদন কত মোটা তাহা জানা বিশেষ প্রয়োজন এবং ঐ মৃত্তিকার স্বভাবজাত দোষগুণের পরীক্ষা করা খুবই আবশ্যক। বিশেষতঃ ঐ মৃত্তিকা কিরূপ সংকোচনশীল (Compressible) তাহা অবশ্যই জানিতে হইবে, কারণ ইহার উপর ঐসকল কল কারখানা বা বৃহদাকার অট্টালিকাসমূহ নির্মাণের পর তাহাদের settlement-এর সম্ভাবনা নির্ভর করে। সুতরাং ক্ষেত্রজ (Field) পরীক্ষার সাথে সাথে সংশ্লিষ্ট শিলা ও মৃত্তিকাসমূহের যন্ত্রীশক্তি এবং অন্যান্য প্রকৃতিগত গুণাগুণের নিরূপণ করা একান্ত প্রয়োজনীয়। যেসকল স্থানে settlement-এর অত্যধিক প্রবণতা সম্বন্ধে পূর্ব হইতেই ইঙ্গিত থাকে, সেইসকল ক্ষেত্রে ভিত্তিস্থানের মৃত্তিকার দৃঢ়ীভবন (Consolidation) সম্বন্ধে বিশেষ পরীক্ষা করা অবশ্য কর্তব্য। এইসকল অবশ্য প্রয়োজনীয় পরীক্ষার কার্য্যসূচী প্রস্তুতের আগে ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ কিরূপ ধরণের ইমারত ইত্যাদি নির্মাণ হইবে সেই সম্বন্ধে জ্ঞাত হইবার চেষ্টা করেন এবং তদনুযায়ী অনুসন্ধানকার্য্য আরম্ভ হয়। ইমারত গঠনগুলিকে মোটামুটি চারিটি শ্রেণীতে ভাগ করা হয় যথা—(a) সাধারণ বসবাসোপযোগী বৃহৎ আবাসগৃহ; (b) বিরাট আকারের বাণিজ্যভবন; (c) ভারী শিল্পোৎপাদন ভবন; এবং (d) বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন ভবন ও ইস্পাত নির্মাণের কারখানা ইত্যাদি। প্রথম দুইটির ক্ষেত্রে পূর্বলব্ধ স্থানীয় ভূতাত্ত্বিক গুণাগুণের মোটামুটি ধারণা হইতে বিশেষজ্ঞ তাঁহার কি কি

ক্রিয়ার সমীক্ষা করা প্রয়োজন হইবে তাহা সহজেই স্থির করিতে সক্ষম হন এবং সাধারণতঃ এই দুইক্ষেত্রে ভূনিম্নে বিশেষ কোন অনুসন্ধান কার্য্যের প্রয়োজন হয় না। কিন্তু শেষোক্ত দুইটি ক্ষেত্রে এবং ঐরূপ গুরুভার-সম্পন্ন কল, কারখানা নির্মাণের কল্পিতস্থানে নিয়মিত পদ্ধতিতে শিলা ও মৃত্তিকার গুণাগুণের নিরূপণ অবশ্যই কর্তব্য। এমনকি স্থানীয় স্থলাকৃতির পরীক্ষা করাও বাঞ্ছনীয় কারণ এই ধরণের বিশাল আয়তনের গঠনকার্য্যের জন্য যে পরিমাণ ভিত খনন অথবা জমি ভরাটের প্রয়োজন হইবে তাহার কিরূপ সুবিধা ঐস্থানে বিদ্যমান সে বিষয়েও সমীক্ষা করা দরকার হয়।

ইমারত ও কল, কারখানাগুলির ওজনজনিত চাপের পরিমাণকে dead weight বা dead load আখ্যা দেওয়া হয়। কিন্তু এই dead load ছাড়াও ঐসকল ইমারতগুলির ব্যবহারের প্রকারভেদে বা কারখানাগুলির চালু থাকাকালীন যে গতীয় চাপের সৃষ্টি হয় তাহাকে live weight বা live load বলা হয়। বেশীর ভাগ ক্ষেত্রেই dead load-এর পরিমাণ live load অপেক্ষা অনেক বেশী হয়। তবে ইহার বিপরীত অবস্থাও কয়েকক্ষেত্রে দেখা যায়। সাধারণতঃ live load-এর পরিমাণ dead load-এর অর্দ্ধেক হইবে এইরূপ অনুমান করিয়া ঐ দুই প্রকারের চাপের মোট পরিমাণ কত বেশী হইতে পারে সে সম্বন্ধে একটা হিসাব নিকাশ করিয়া ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ তাঁহার ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান আরম্ভ করেন। ইমারত ও কল, কারখানাগুলির ওজনজনিত উর্দ্ধাধ চাপ উহাদের ভিত্তিস্থানে কার্য্যকরী হয়, কিন্তু ঐসকল গঠনগুলির যথারীতি ব্যবহারের সময়ে আনুষঙ্গিক কম্পন (Vibrations) জনিত যে চাপ সৃষ্টি হইতে পারে এবং ঐঞ্চলে কখনও ভূমিকম্প হইলে তজ্জনিত যে পার্শ্বচাপ সৃষ্টি হইতে পারে সেই সকলেরও একটা হিসাব লইতে হয়। শিলাময় স্থানে সন্ধি বা চ্যুতির উপস্থিতি প্রমাণিত হইলে উহাদের সম্বন্ধে সতর্কতামূলক ব্যবস্থা গ্রহণের আবশ্যক হয়। সন্ধিগুলি grouting পদ্ধতির অবলম্বনে নির্দোষ করিয়া ফেলা হয়। এই grouting পদ্ধতি সম্বন্ধে পরে বিশদ-ভাবে আলোচনা করা হইয়াছে। চ্যুতির উপস্থিতি জানিতে পারিলে ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ তাঁহার পূর্বার্জিত ভূতাত্ত্বিক জ্ঞানের দ্বারা ঐ চ্যুতির সাম্প্রতিককালে সচলতা সম্বন্ধে অনুসন্ধান করেন ও উপযুক্ত সতর্কতামূলক ব্যবস্থা অবলম্বনের সুপারিশ করেন। পাহাড়ী এলাকায় চ্যুতিপূর্ণ স্থান বর্জনীয়, কিন্তু সমতলভূমিতে ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানে চ্যুতির উপস্থিতি জানিতে

পারিবেও উহার উপর বৃহদাকার ইমারত অথবা কলকারখানা নির্মাণ আপত্তিজনক বলিয়া বিবেচিত হয় না কারণ ভারজনিত চাপ বিশেষ কোন প্রভাব সৃষ্টি করে না। তবে ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানের দ্বারা স্থানীয় জল-পীঠের উপস্থিতি ভূপৃষ্ঠের কত নীচে এবং প্রস্তাবিত গঠনগুলির ভিত্তি-স্থানের সীমানার মধ্যে অবস্থিত কি না সে বিষয়ে তথ্য আহরণ করা অতিশয় প্রয়োজনীয়, কারণ ভিত্তিস্থানে ভূজলের উপস্থিতি অতিশয় হানিকর। জলপীঠ সর্বাপেক্ষা কত উঁচু হইতে পারে তাহার একটা আভাস পাওয়া দরকার কারণ ইহার উপস্থিতির উপর ভারী ইমারত ও কারখানাগুলির ভিত্তি স্থাপনের design নির্ভর করে। ভূজলের প্রকৃতি অনুযায়ী উদস্থিতি (Hydrostatic) চাপ সৃষ্টি হয় এবং ইহার প্রতিষেধক হিসাবে ভিতগঠন এরূপভাবে করা হয় যে উহার নিম্নচাপ ভূজলের উদস্থিতি চাপকে প্রতিহত করে।

কারিগরী ও বৃহৎ অট্টালিকা গঠনের ভিত্তিনির্মাণ পদ্ধতি

সেতু নির্মাণের বিভিন্ন পদ্ধতি সম্বন্ধে আলোচনাকালে spread-footing, pile foundation ইত্যাদি বিষয়ের বর্ণনা করা হইয়াছে। বর্তমান যুগে বৃহৎ অট্টালিকা এবং heavy engineering structures গঠনের নিমিত্ত spread-footing পদ্ধতি খুব বেশী ব্যবহৃত হয়। Footing এই আখ্যাটি বেশীর ভাগ ক্ষেত্রে যে কোন রকমের ভিত গঠনকে বুঝায় তবে যথার্থপক্ষে ইহা বিস্তৃত ধরণের নির্মিত ভিতের ক্ষেত্রে প্রয়োগ করা বাঞ্ছনীয়। Spread-footing ধরণের ভিত গাঁথনি করা হইলে নিম্নস্থ শিলা বা মৃত্তিকার বৃহৎ অংশের উপর এই ভিত স্থাপিত হয় এবং ফলে তদুপরি ভারী গাঁথনি সমূহের ওজনজনিত উর্ধ্বাধ চাপ বিস্তৃত এলাকায় ছড়াইয়া পড়ে। এই পদ্ধতির ভিত গাঁথনির দ্বারা unit load-এর পরিমাণ অর্থাৎ প্রতি বর্গ মিটারের উপর গাঁথনির ভারজনিত চাপ কম করা সম্ভব হয়। Spread-footing-এর বর্গ মাপ যত বৃদ্ধি করা হয় unit load-এর পরিমাণ তত কমিয়া যায় এবং এই unit load প্রতি বর্গমিটারে টনের হিসাবে মাপ করা হয়। অপেক্ষাকৃত হাল্কা ওজনের ইমারত যথা বসবাসের বাড়ী প্রভৃতির ক্ষেত্রে continuous footing ধরণের ভিত গাঁথনির প্রচলন আছে। ইহার সমগ্র অংশই অনিম্নস্থ শিলা বা মৃত্তিকার উপরিভাগ স্পর্শ করিয়া থাকে এবং reinforced কংক্রীটের চেপটা ও পাতলা slab-এর আকারে গাঁথা হয়;

এই slab-এর আকারে গাঁথা ভিতকে mat অথবা raft foundation বলা হয়। যে স্থানে মৃত্তিকার বহন ক্ষমতা পরীক্ষার দ্বারা নিম্নমানের বলিয়া বিবেচিত হয় সেক্ষেত্রে এইরূপ continuous footing ধরণের ভিত গাঁথনি প্রশস্ত। তবে নিম্নস্থ মৃত্তিকার স্তরের কোন অংশ যদি অপেক্ষাকৃত কঠিন এবং দৃঢ়ীভূত অবস্থায় থাকে, সেক্ষেত্রে ঐ কঠিন অংশটি উপস্তম্ভের (Fulcrum) ভূমিকা গ্রহণ করে এবং ফলে mat foundation-এর ভাঙ্গনের সম্ভাবনা দেখা দেয়। Spread-footing পদ্ধতিতে গাঁথা ভিত আরও কয়েক প্রকারের হয় যথা—(a) battered এবং (b) stepped ; এই সকল ক্ষেত্রে পৃথক পৃথক ভাবে প্রতিটি footing-এর উপর স্তম্ভ গাঁথা হয় এবং এই footing গুলির তলদেশের বর্গমাপ এবং উচ্চতা উহাদের উপরে কল্পিত গাঁথনির আকার ও ভারের অনুযায়ী হয়। সেতু নির্মাণের ক্ষেত্রে যেমন ভিন্ন ভিন্ন পায়াগুলির উপর কংক্রীটের কড়ি (Beam) গাঁথিয়া পায়াগুলিকে সংযুক্ত করা হয়, সেইরূপ heavy engineering srructures নির্মাণক্ষেত্রেও ভিন্ন ভিন্ন footing-কে beam অথবা curtain wall দ্বারা যুক্ত করা হয়। এই curtain wall গুলির জন্য পৃথক ভিত গাঁথা হয় না এবং এইগুলি বেশী মোটা হয় না বা ইহাদের উপর কোন ভার থাকে না। Spread-footing ধরণের ভিত গাঁথার কল্পনা করা হইলে সর্বপ্রথমে ঐ স্থানের মৃত্তিকার সর্বোচ্চ ভার বহন ক্ষমতা (Ultimate bearing power) যতদূর সম্ভব নির্ভুল-ভাবে নির্ধারণ করিতে হইবে। এই সর্বোচ্চ ভার বহন ক্ষমতার অর্ধেক বা এক-তৃতীয়াংশকে (safe bearing power) বলিয়া ধরা হয় এবং ভারী কারখানা ও অনুরূপ গঠনসমূহের design প্রস্তুতের সময়ে লক্ষ্য রাখিতে হইবে যাহাতে spread-footing এর তলদেশে unit load ঐ স্থানের মৃত্তিকার safe bearing power-এর অধিক না হয়। অন্যথায় footing-এর যন্ত্রীশক্তির লোপ সাধন হয় এবং উহার তলদেশ হইতে মৃত্তিকা নিষ্পিষ্ট হওয়ার প্রবণতা দেখা দেয় ও structure-এর অবনমন জনিত ক্ষতিসাধন হয়। Pile foundation পদ্ধতি সম্বন্ধেও পূর্বে আলোচনা করা হইয়াছে।

অনেক ক্ষেত্রেই পূর্ব প্রকাশিত ভূতাত্ত্বিক তথ্য সকলের বিশ্লেষণ করিয়া ভূপৃষ্ঠের ও পাতালিক অবস্থা সম্বন্ধে সম্যক জ্ঞান অর্জন করা সম্ভব হয় এবং অতিরিক্ত ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান কার্যের প্রয়োজনবোধ হয় না। ইহা ছাড়াও নিকটেই যদি অন্য কোন গঠন কার্য সমাধা

হইয়া থাকে, সেই সূত্র হইতেও অনেক কিছু প্রয়োজনীয় তথ্য সংগ্রহ করা সম্ভব হয়। অবশিষ্ট অবশ্য জ্ঞাতব্য বিষয়গুলির জন্য অনুসন্ধান কার্য্য অপরিহার্য্য। বিভিন্ন প্রকারের ভূতাত্ত্বিক অবস্থায় ভিত্তি স্থাপনের পদ্ধতিও ভিন্ন হয়। এই বিষয়ে স্থির সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়ার জন্য ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ ও ভারপ্রাপ্ত ইঞ্জিনীয়ারদের মধ্যে আলোচনার প্রয়োজন হয়। উদাহরণ স্বরূপ বলা যাইতে পারে যে কঠিন বালুশিলার উপরিস্থ দৃঢ়সংবদ্ধ বালুকণা ও উপোপল বিশিষ্ট ভূমিতে অথবা কঠিন clay জাতীয় ভূমির উপর spread-footing পদ্ধতিতে ভিত নির্মাণ বিধেয়। অবশ্য এই সকল ক্ষেত্রে জলপীঠ বেশ গভীর হওয়া প্রয়োজন। তবে যদি উপরিস্থ বালুকণা ভূপৃষ্ঠের নিকটে খুব বেশী সংবদ্ধ অবস্থায় না থাকে এবং জলপীঠও অগভীর হয়, সেক্ষেত্রে ভিতের গাঁথনির ধারে ধারে বালুকণাসমূহ নিস্পিষ্ট হওয়ার সম্ভাবনা খুব বেশী প্রকট হয় এবং structure-এর বসিয়া যাওয়ার প্রবণতা দেখা যায়।

যে ক্ষেত্রে কঠিন শিলাসমূহের উপর নরম clay জাতীয় মৃত্তিকা থাকে এবং জলপীঠও ভূপৃষ্ঠের অল্প নিম্নে অবস্থিত, এরূপ অবস্থায় pile foundation প্রশস্ত তবে কাঠের pile অথবা কংক্রীটের pile কোনটি ব্যবহার করা হইবে উহা ব্যয়ের হিসাবের উপর নির্ভর করে। অনেক সময়ে দেখা গেছে যে কঠিন শিলাময় ভিত্তিস্থানের (Base) উপর বেশ মোটা সংবদ্ধ বালুস্তর থাকিলেও ভূপৃষ্ঠের নিকটে নরম clay জাতীয় মৃত্তিকা বিদ্যমান অথচ জলপীঠ বেশ গভীর। এই সকল ক্ষেত্রে উপরিস্থ নরম clay-র স্তর কিছুটা ভেদ করিয়া কংক্রীটের স্তম্ভ গাঁথিয়া তদুপরি beam গাঁথনি করা হয় এবং ইহার উপরিভাগে heavy structures গঠন করা বিধেয় হয়। কয়েক ক্ষেত্রে দেখা গেছে যে ভূনিম্নে সংবদ্ধ বালুকণাময় গভীর তলদেশের উপর অল্প কয়েক মিটার মোটা নরম clay জাতীয় স্তর বিদ্যমান এবং তাহার উপরিভাগে ভূপৃষ্ঠ অবধি সংবদ্ধ মৃত্তিকাস্তর আছে যাহা নিম্নস্থ নরম clay জাতীয় স্তর অপেক্ষা স্থূলতায় প্রায় দ্বিগুণ। জলপীঠও ভূপৃষ্ঠের অল্প নিম্নে বিদ্যমান। এইরূপ পরিস্থিতিতে spread-footing বা pile foundation সফলকাম হয় না, কারণ উভয় পদ্ধতির যে কোনটিতেই নিম্নস্থ গভীর তলদেশের নরম clay স্তরের সংকোচন হয়। ফলে উপরিস্থ ভারী গঠনগুলির settlement সাধিত হয়। তবে গভীর তলদেশে বালুকণার স্তর অবধি pile ভেদ করাইয়া ভিত স্থাপন অনেক ক্ষেত্রে কার্য্যকরী হইয়াছে। পাতালিক

অনুসন্ধানে ভনিম্নে শেল (Shale) জাতীয় শিলাস্তর পাইলে উহার উপরি-ভাগ বিশরিত অবস্থায় আছে কি না সে বিষয়ে বিশেষভাবে পরীক্ষা করা প্রয়োজন। কারণ শেল জাতীয় শিলাস্তরের উপর বালুকণা ও clay মিশ্রিত মৃত্তিকা থাকিলে এবং জলপীঠ বেশ গভীর হইলে এরূপস্থানে কংক্রীটের স্তম্ভ শেলের উপর গাঁথিয়া ভিত স্থাপন করা বাঞ্ছনীয়। তবে শেল পাথরের অক্ষত অবস্থা এবং সন্ভেদ (Cleavage) ও ভেদস্তর (Parting) বিহীন হওয়া অবশ্য কাম্য। এই প্রাকৃতিক অবস্থাগুলি সম্বন্ধে ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষার ফলাফল অনুকূলে হইলে তবেই নির্মাণ কার্য্যে অগ্রসর হওয়া যেতে পারে।

কারিগরী ও বৃহদাকার অট্টালিকা গঠনের ভিত্তিস্থানে ভূজলের প্রভাব

উপরে বর্ণিত উদাহরণগুলি হইতে ভূপৃষ্ঠে ও তলদেশে বিভিন্ন প্রকারের শিলা ও মৃত্তিকার উপস্থিতিজনিত প্রভাব ভিত স্থাপনের পদ্ধতির উপর কিরূপ হয় সে বিষয়ে ধারণা করা সম্ভব হয়। তবে এই ব্যাপারে পাতালিক অনুসন্ধানের কার্য্যসূচী ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের অভিজ্ঞতা ও পূর্বার্জিত ভূতাত্ত্বিক তথ্যের উপর খুব বেশী নির্ভরশীল। অবশ্য পাতালিক অনুসন্ধানের সাথে সাথে মৃত্তিকা ও শিলাসমূহের বিভিন্ন চরিত্র সম্বন্ধে পরীক্ষা soil testing laboratory-তে সুযোগ্য কর্মীর দ্বারা করান একান্ত কাম্য। আর একটি বিশেষ অনুসন্ধানের বিষয় হইল জলপীঠের গভীরতা ও উহার হ্রাস বৃদ্ধি, কারণ উহার উপস্থিতি ভিত স্থাপনে যথেষ্ট গুরুত্বপূর্ণ প্রভাব বিস্তার করে। বিশেষতঃ যেক্ষেত্রে বৃহদাকার অট্টালিকার অধোঃকোষ্ঠ (Basement room) নির্মাণের পরিকল্পনা করা হয় সেক্ষেত্রে এই জলপীঠের গভীরতা নির্ণয় অবশ্য কর্ত্তব্য। যে সকল স্থানে জলপীঠ স্বাভাবিকতঃ বেশ গভীর এবং বৃষ্টিপাতের ফলেও উহার কোনরূপ অস্বাভাবিক উৰ্দ্ধগতি হয় না, সে সকল স্থানে ইহার দ্বারা কোন সঙ্কট সৃষ্টি হয় না। কিন্তু এমন বহু দৃষ্টান্ত আছে যেখানে অসমতল স্থলাকৃতি বিশিষ্ট ভূপৃষ্ঠের সন্নিকটে এবং পাহাড়ী দেশে উঁচু জায়গার পাদদেশে পাললিক শিলাবিশিষ্ট (Sedimentary rock) স্থানে এই জলপীঠ স্থানীয় ভারী বর্ষণের সাথে উঠা নামা করে। এ সকল ক্ষেত্রে জলপীঠের সর্বাপেক্ষা অধিক উত্থানের মাপ নির্ধারণ করিতে হয় এবং তদনুযায়ী ভিত গঠন

প্রণালীর রদ বদল করা হয়। জলপীঠের সর্বোচ্চ লেভেলের উপরে ভিত স্থাপনা করা কর্তব্য নচেৎ যে সকল structures-এর বনিয়াদ গঠন ঐ জলপীঠের লেভেলের মধ্যে করা হয়, সেগুলির basement প্রকোষ্ঠগুলিকে শুষ্ক রাখিতে ব্যয়বহুল water-proofiing ব্যবস্থা লইতে হয় এবং তাহা ছাড়া জলপীঠজনিত উদস্থিতির উর্ধ্বচাপে structure-এর ক্ষতি সাধন হইবার আশঙ্কাও থাকে।

কারিগরী ও বৃহদাকার অট্টালিকার গঠনকার্য্যে সমস্যা

বৃহদাকার অট্টালিকা ও ভারী কারখানা গৃহাদির স্থাপনাকার্য্যে অনেক সময়ে বহু সমস্যার সম্মুখীন হইতে হয়। এইগুলির মধ্যে ভূজলজনিত জলপীঠ সম্বন্ধে আলোচনা ইতিপূর্বে করা হইয়াছে। ইহা ছাড়া আরও দুইটি প্রধান সমস্যা হইল ভিত খননে বিপত্তি এবং ভিত্তিস্থানে স্থিতিশক্তিবিহীন শিলা বা মৃত্তিকার অবস্থান। ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানে সেই কারণে ভিত খননের সময়ে পার্শ্বস্থ দেওয়ালগুলিতে কি পরিমাণ ঢাল থাকা যুক্তিযুক্ত হইবে এবং ভিত গঠনের স্থানের স্থিতিশীলতা কিরূপ মাত্রার হওয়া কাম্য ও উহার উন্নতিকল্পে কি ব্যবস্থা লওয়া প্রয়োজন এই বিষয়গুলি মুখ্যস্থান অধিকার করে। প্রায় একই রকম সমস্যা বড় বড় সেতু ও বাঁধ নির্মাণের ক্ষেত্রেও দেখা দেয়। কঠিন শিলাময়স্থানে বিভিন্ন শিলান্তরসমূহের নতির মাত্রা খুব বেশী হইলেও ভিত খননকালে স্খলনের বিশেষ আশঙ্কা থাকে না যদি ঐ সকল শিলা জল অথবা হাওয়ার সংস্পর্শে সহজেই বিশরিত না হইয়া পড়ে। কিন্তু বিভিন্ন প্রকৃতির শিলাস্তর যথা বালুশিলা, শেল প্রভৃতি পর্যায়ক্রমে থাকিলে এবং নতির মাত্রা বেশী হইলে বৃষ্টির জলের অনুপ্রবেশের ফলে অথবা ভূজলের প্রভাবে বিভিন্ন স্তরের মধ্যে ঘষণজনিত শক্তি লোপ পায়। সুতরাং এইরূপ অবস্থায় গভীর ভিত খননকালে সাধারণতঃ বালুশিলাগুলি নিম্নস্থ শেল পাথরের স্তরগুলির উপর দিয়া হড়্‌কাইয়া যাওয়ার প্রবণতা দেখায়। তবে শিলাগুলির নতির বিপরীত দিকে খননে এইরূপ সমস্যা দেখা দেয় না। যদি ঐ ভিত খননের স্থানে কোনরূপ সন্ধি বা চ্যুতি থাকিয়া থাকে এবং ঐ সকল সন্ধিতল ও চ্যুতিতল বরাবর শিলাসমূহ বিশরিত অবস্থায় থাকে, সেক্ষেত্রে খননকার্য্যে অসুবিধার সৃষ্টি হয় এবং বিপদের সম্ভাবনাও থাকে। নির্দোষ আগ্নেয়শিলা এবং রূপান্তরিত শিলাময় স্থানে

সাধারণতঃ খননকালে এই জাতীয় সমস্যা দেখা দেয় না। তবে রূপান্তরিত শিলা সম্প্রদায়ের মধ্যে পট্টযুক্ত শিষ্টজাতীয় শিলা (Platy schist) থাকিলে উহার চারিত্রিক বৈশিষ্ট্য অনেকটা পাললিক শিলার সমান হয়। কেবলমাত্র মৃত্তিকাপূর্ণ স্থানেও খননকালে ঢালের দিকে বিশেষ নজর রাখিতে হয় যাহাতে হঠাৎ ধ্বস ভাঙ্গিয়া পড়িয়া কোনরূপ বিপর্যয় সৃষ্টি না করে। বিশেষতঃ অপেক্ষাকৃত গভীর খননের প্রয়োজন হইলে ঐরূপ মৃত্তিকাপূর্ণ স্থানে পার্শ্ব চাপের ব্যবস্থা করিয়া তবে খননকার্য্যে অগ্রসর হওয়া বাঞ্ছনীয়। অনেকক্ষেত্রে ধ্বস নামার বিপদ রহিত করিবার জন্য খননকালে জমির ঢালের দিকে কিছুদূর অন্তর সমতল করিয়া দেওয়া বিধেয়। ইহা অনেকটা earth dam নির্মাণে berm-এর গঠনের অনুরূপ।

ভিত্তিস্থানের ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান কার্য্যসূচীতে ঐ স্থানের মৃত্তিকার জলের সংস্পর্শে স্ফীত (Swelling) হওয়ার প্রবণতা সম্বন্ধে সমীক্ষা বিশেষ স্থান পায়। কারণ অনেক সময়ে এই বিষয়টি সম্বন্ধে বিশেষ লক্ষ না রাখার ফলে অট্টালিকা বা ভারী কারখানা ইত্যাদি গঠনের সমাপ্তির কিছুদিনের মধ্যেই ঐসকল গঠনের আপনা হতেই সমুদয় অথবা পার্থক্যসূচকভাবে (Differential) উত্তোলন ঘটে এবং ফলে গঠনের বহু অংশে ফাটল দেখা দেয়। দেখা গেছে যে অট্টালিকা বা কারিগরী গঠনগুলির দেওয়াল সকল স্থিতিশীল থাকিলেও উহাদের মেঝে (Floors) উপরের দিকে ফুলিয়া উঠে এবং ইহার ফলে ফাটল দেখা দেয় ও নানাবিধ ক্ষতিসাধন হয়। সাধারণতঃ ভিত্তিস্থানের মৃত্তিকার জলে ভিজিয়া অথবা আর্দ্র বাষ্পের সংস্পর্শে স্ফীত হওয়ার প্রকৃতিগত প্রবণতা থাকিলে ঐরূপ স্থান বর্জ্জনীয়। অনুপায়ে ঐ ধরণের মৃত্তিকার রাসায়নিক প্রক্রিয়ার সাহায্যে স্ফীত হওয়ার প্রবণতা রোধ করিতে হয় এবং ভিত্তিস্থানে যাহাতে জলের অনুপ্রবেশ না হয় সে বিষয়ে বিশেষ লক্ষ্য রাখিতে হয়। ইতিপূর্বেই বলা হইয়াছে যে ইমারত বা কারিগরী গৃহগুলি তাহাদের বিভিন্ন প্রকারের ব্যবহারানুযায়ী ভিন্ন ভিন্ন শ্রেণীভুক্ত করা হয়। সাধারণ বাসপোযোগী ইমারত ইত্যাদির জন্য নির্মানস্থানের ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানের প্রয়োজন হয় না। নিকটস্থ পর্ব নির্মিত ইমারতসমূহের গঠনকালের ইতিহাস হইতেই প্রয়োজনীয় তথ্য সংগৃহীত হয় এবং আবশ্যকীয় সতর্কতামূলক ব্যবস্থা গ্রহণ করা হয়। বৃহদাকারের বাণিজ্যভবন নির্মাণের জন্য অবশ্য ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষার প্রয়োজন হয়, কারণ অনেকক্ষেত্রে এই ভবনগুলিতে অধোঃকোষ্ঠ থাকে এবং এইকারণে ভূজলের উপস্থিতিজনিত

সম্ভাবিত অসুবিধা ও ক্ষতিসাধনের প্রতিরোধ ব্যবস্থা নিরূপনের জন্য geo-technical অনুসন্ধানের প্রয়োজন হয়। এই অনুসন্ধানে ভূছিদ্রকরণের দ্বারা তথ্য সংগৃহীত হয় এবং ভূছিদ্রের গভীরতা নির্ভর করে ভিত্তিগঠনের স্তরের গভীরতার উপর। তদুপরি এইরূপ অধো:কোষ্ঠ বিশিষ্ট বাণিজ্য-ভবনগুলি সাধারণত: স্তম্ভের উপরে গাঁথনি করা হয় এবং এই কারণে স্তম্ভের সংখ্যানুযায়ী ভূছিদ্রের সংখ্যাও কম বেশী হয়। ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ এই সকল ভূছিদ্রলব্ধ core-গুলি পরীক্ষা করিয়া ঐ ভবনের নির্মাণ নক্সায় ঐ সকল তথ্য লিপিবদ্ধ করেন এবং তদ্দ্বারা ইঞ্জিনীয়ারগণ তাঁহাদের কল্পিত design-এর প্রয়োজনমত রদ বদল করিতে সক্ষম হন ও নির্মাণকালে কিরূপ সতর্কতামূলক ব্যবস্থা অবলম্বন করিতে হইবে সে বিষয়ে সিদ্ধান্তে উপনীত হইতে সক্ষম হন।

ভারী শিল্প উৎপাদন ভবন নির্মাণের জন্যও উপরোক্ত প্রকারের ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষার প্রয়োজন হয়। তবে এইসকল ভবন বিরাট এলাকায় বিস্তৃত থাকার জন্য ইহাদের ভিত্তিস্থানের মৃত্তিকার (Soil) প্রাকৃতিক অবস্থা সারা এলাকায় একই রকম না হইতেও পারে। এই কারণে ভূছিদ্রের সংখ্যা বৃদ্ধি করিয়া সম্যক তথ্য অর্জ্জন করা বিধেয়। জলপীঠের অবস্থান সম্বন্ধেও বিশেষ তথ্য আহরণের প্রয়োজন কারণ ইহা নাতিগভীর হইলে ভিত্তি স্থাপনে বিঘ্ন ঘটায় এবং heavy structures-গুলির তলদেশে প্লাবিতা (Buoyancy) জনিত উর্ধ্বচাপের সৃষ্টি করে। উপরন্তু এইসকল শিল্পভবনে স্থাপিত ভারী যন্ত্রগুলির পূর্ণোদ্যমে চলাকালীন যে কম্পনের সৃষ্টি হয় তাহা দ্বারা ঐ সকল স্থানের settlement-এর প্রবণতা দেখা দেয়। এই প্রকার বিপর্যয়ের নিবারণকল্পে ভিত্তি গঠনের উপযুক্ত প্রথা অবলম্বন করা হয় এবং এই কার্য্যে ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের মতামত বিশেষ প্রভাব বিস্তার করে। কিন্তু বিদ্যুৎ উৎপাদন ভবন, ইস্পাত নির্মাণ কারখানা বা বিরাট জল পাম্পিং ষ্টেশন প্রভৃতির নির্মাণে এই কম্পনজনিত বিপর্যয়ের প্রতিরোধ ব্যবস্থা ঐ সকল ভবনের design প্রস্তুতের সময়েই লওয়া হয়। তাহা ছাড়া এই সকল ক্ষেত্রে যন্ত্রসমূহের ওজন সাধারণত: এত বেশী হয় যে ঐ ভারের চাপে settlement-এর প্রবণতা খুবই বৃদ্ধি পায়। কম্পন ও ভারজনিত পার্শ্ব চাপ ও উর্ধ্বচাপের এককালীন প্রভাবে যে বিপর্যয়ের সৃষ্টি হইতে পারে তাহার সর্বাধিক মাত্রার অনুমান পূর্ব হইতেই করা হয় এবং ভবনগুলির ভিত্তিস্থাপনে যথাযোগ্য নিরাপত্তার ব্যবস্থা করা হয়। কারিগরী গৃহগুলির ভিত্তির settlement ও কম্পনজনিত

স্থানচ্যুতির মাত্রা এরূপ সীমাবদ্ধ যে উহার বজন অতি অল্পমাত্রায় হইলেই দারুণ বিপর্যয় সৃষ্টি করে ; যথা জলবিদ্যুৎ শক্তি উৎপাদন ভবনে অনেক এরূপ settlement-এর জন্য penstock-এর বিযুক্তি ঘটে অথবা পাম্প বা turbine যন্ত্রগুলির বিভিন্ন অংশসমূহ alignment বহির্ভূত হইয়া পড়ায় ক্ষতিগ্রস্ত হয়। জলবিদ্যুৎ শক্তি উৎপাদন ভবন নির্মাণের জন্য উপযুক্ত নির্দোষ ও দৃঢ়শক্তিসম্পন্ন স্থান ভূপৃষ্ঠে না পাইলে এবং নিকটেই ভূনিম্নে শিলাসংস্তরের উপস্থিতি থাকিলে অনেক সময়ে এইরূপ উৎপাদন কেন্দ্র ভূপৃষ্ঠের তলদেশে স্থাপনা করা হয়। অবশ্য এরূপ ক্ষেত্রে যথাযথ ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানের দ্বারা ভূনিম্নস্থ শিলাসমূহের যোগ্যতা নিরূপণ করা হয় এবং বিশেষ করিয়া চ্যুতি, সন্ধি ও বন্ধীমণ্ডলের উপস্থিতি সম্বন্ধে নিখুঁতভাবে সমীক্ষা করিয়া উহাদের প্রভাব settlemet ও কম্পনজনিত বিপর্যয়কে কতটা বৃদ্ধি করিবে তাহার একটা ধারণা করিয়া তবেই ঐ স্থান নির্ণয় করা হয়। এই বিষয়ে পূর্বেই ষষ্ঠ অধ্যায়ে বৃহৎ বাঁধ পরিকল্পনার প্রসঙ্গে বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে। উদাহরণ স্বরূপ বলা যাইতে পারে যে কোন একটি চ্যুতিমণ্ডলের উপস্থিতি ভূপৃষ্ঠে কোন ভারী গঠনের নির্মাণে অথবা সুড়ঙ্গ নির্মাণে বিশেষ কোন সমস্যার সৃষ্টি না করিলেও ভূনিম্নে উহার উপস্থিতি জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের জন্য প্রকোষ্ঠ নির্মাণে অনেক সময়ে খুব বেশী অসুবিধার সৃষ্টি করে। ঐ প্রকোষ্ঠের জন্য দৃঢ় ও শক্তিশালী ছাদ নির্মাণের প্রয়োজন হয় যাহাতে নিরাপত্তার কোন ব্যাঘাত না ঘটে, ফলে ব্যয়ের অঙ্ক বৃদ্ধি পায়। সুতরাং এইরূপ পরিস্থিতির সম্মুখীন হইলে অনেক সময়ে স্থান পরিবর্তনের প্রয়োজন হয়।

কারিগরী ও অন্যান্য ভারীগঠনের ভিত্তিস্থানের ফাট পূর্ণকরণ

এখন যে কোন প্রকার গঠনকার্য্যে, বিশেষতঃ বাঁধ ও ভারী কারিগরী ভবন ইত্যাদি নির্মাণে ভূপৃষ্ঠে এবং তলদেশে শিলাসমূহের ফাট (Crack) পরিপূরণ সম্বন্ধে আলোচনা করা হইতেছে। বাঁধ নির্মাণের জন্য অনেক সময়ে ভিত্তির লেভেল অবধি বিশরিত ও ক্ষয়প্রাপ্ত শিলাসমূহের অপসারণ করিয়াও দেখা যায় যে ফাট এবং সন্ধিগুলি আরও গভীর তলদেশ অবধি বিদ্যমান। সেরূপ ক্ষেত্রে আরও অধিক খনন কার্য্য চালাইয়া ব্যয়ের মাত্রা বৃদ্ধি না করিয়া নিম্নস্থ ফাট ও ত্রুটিপূর্ণ

স্থানগুলিকে অত্যধিক চাপে (Pressure) সিমেণ্ট অনুপ্রবেশ করাইয়া পূরণ করা হয়। এই পদ্ধতিকে ফাট পূর্ণকরণ (Grouting) বলা হয় এবং grouting-এর উপকরণ হিসাবে সাধারণতঃ Portland সিমেণ্ট ও জল ব্যবহৃত হয়। অবস্থা বিশেষে এবং প্রয়োজনবোধে বালু, সিমেণ্ট ও জলের মিশ্রণ grout হিসাবে ব্যবহার হইয়া থাকে। এই grout কতদূর অবধি অনুপ্রবেশ করিতে সক্ষম হইবে তাহা ঐ মিশ্রণের সান্দ্রতা (Viscosity) এবং ফাটের প্রস্থের (Width) উপর নির্ভর করে। এই কারণে grouting পদ্ধতি কোনস্থানে কার্য্যকরী করিবার প্রাক্কালে ঐ grouting মিশ্রণের বিভিন্ন উপাদানের ভাগের রদ বদল করিয়া উহার কার্য্যক্ষমতার পরীক্ষা করা হয় এবং এই উপায়ে সঠিক grout মশলা প্রস্তুত করা সম্ভব হয়। ফাটগুলি খুব চওড়া হইলে grout মিশ্রণও অধিক সান্দ্রের হইতে পারে। এই grout নির্মাণে কেবলমাত্র সিমেণ্ট ব্যবহার না করিয়া উহার সহিত ঔদক চুণ (Hydraulic lime), calcium chloride, diatomaceous earth, bentonite প্রভৃতি মিশ্রণ করিয়া অধিকতর সুফল পাওয়া যায়। ইহাদের কার্য্যক্ষমতা সর্বাধিক করিবার জন্য ভাগের অংশ কম বেশী করিয়া পরীক্ষা করা হয়। অনেকক্ষেত্রে asphalt বা bitumen জাতীয় পদার্থও ব্যবহারে বেশ সুফল পাওয়া যায়। এই সকল উপাদান ব্যতিরেকেও বর্তমানে কয়েকপ্রকার রাসায়নিক পদার্থের ব্যবহারও grouting পদ্ধতিতে প্রচলিত হইয়াছে।

পূর্বেই বলা হইয়াছে যে grout-এর উপকরণ ভিত্তিস্থানের তলদেশে অবস্থিত ফাটল ইত্যাদি পরিপূরণের উদ্দেশ্যে ঐ ভিত্তিস্থান হইতে অধিক চাপে অনুপ্রবেশ করান হয়। এই grouting-এর দ্বারা কেবলমাত্র যে পাতালিক জলক্ষরণের পথ বন্ধ হয় তাহাই নহে, ইহাতে ফাটের দ্বারা বিভক্ত শিলাসমূহের একীকরণ (Monolith) করা সম্ভব হয় এবং পাতালিক জলপ্রবাহের উর্ধ্বচাপ প্রতিহত হয়।

ফাট পুরণের (Grouting) বিভিন্ন পদ্ধতি

Grout-এর উপকরণ সমূহের অনুপ্রবেশ করাইবার কয়েকটি প্রথা প্রচলিত আছে। বাঁধ বা ভারী ইস্পাত নির্মাণের কারখানা ও কারিগরী ইমারতগুলির ভিত্তিস্থানে ভুছিদ্র করিয়া উহাদের মধ্য দিয়া অতিরিক্ত চাপে grout মিশ্রণ তলদেশে অনুপ্রবেশ করান হয়। বড় বড় masonry বাঁধের

দেহের মধ্যে galleries গাঁথা থাকে যেগুলিকে সাধারণতঃ observation বা inspection galleries বলা হয়। অনেক সময়ে এই বাঁধগুলির নির্মাণ-কার্য্য সমাধা হইবার পর ঐ সকল galleries-এর মধ্যে ছিদ্র করিয়া ভিত্তি-স্থানে grouting করা হয়। আবার কোন কোন বাঁধ নির্মাণের সময়েই ভবিষ্যতে প্রয়োজনবোধে grouting-এর সুবিধার জন্য নল পোঁতা থাকে এবং ঐ নলগুলির বাড়ান (Protruding) মুখ দিয়া grout মিশ্রণ অনুপ্রবেশ করান হয়। বাঁধের abutments সমূহে সাধারণতঃ drift বা tunnel ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানের সুবিধার্থে করা হইয়া থাকে এবং এই tunnel গুলির মধ্যে ছিদ্র করিয়া grouting-এর সুবিধা করা হয়। Grouting এর জন্য বিশেষ ধরণের পাম্প ব্যবহার করা হয়, কিন্তু যদি grout মিশ্রণে ঘর্ষক (Abrasive) জাতীয় উপকরণ থাকে, সেক্ষেত্রে বায়ুচালিত (Pneumatic) অন্তঃক্ষেপন (Injector) যন্ত্রের ব্যবহার করা হয়। সাধারণতঃ grouting-এর সাজ-সরঞ্জাম হিসাবে grout মিশ্রণপূর্ণ একটি আধার (Tank) এবং একটি বা ততোধিক পাম্প থাকে। Grouting করিবার গর্তগুলির মুখে চাপমাপক যন্ত্র (Pressure gauge) লাগান হয় এবং ইহার সাহায্যে grouting করিবার সময়ে চাপ নিয়ন্ত্রন করা হয়। এই grouting কার্য্য খুব অভিজ্ঞ ব্যক্তির দ্বারা সম্পাদিত হওয়া উচিৎ এবং grouting কার্য্য চলাকালীন প্রতিটি গর্তে কি পরিমাণ grout মিশ্রণ ব্যবহৃত হইল তাহার সঠিক হিসাব রাখা অবশ্য কর্তব্য। কারণ যদি কোন বিশেষ গর্তে grout মিশ্রণের পরিমাণ অন্যান্য নিকটবর্তী গর্তগুলিতে ব্যবহৃত মিশ্রণের পরিমাণ অপেক্ষা খুব বেশী হয় অথচ অন্তঃক্ষেপণের চাপ বৃদ্ধি না হয়, সেক্ষেত্রে বুঝিতে হইবে যে grouting সফল হইতেছে না, অর্থাৎ পাতালস্থ ফাটগুলি পরিপূরণ না হইয়া grout মিশ্রণ অন্য পথে বাহির হইয়া যাইতেছে। এইরূপ পরিস্থিতির উদ্ভব হইলে grouting পদ্ধতির রদ বদল করিয়া অনেক সময়ে সফলকাম হওয়া যায়। অনেকক্ষেত্রে grouting করিবার সময়ে নিম্নস্থ ভূজলের উর্ধ্বচাপ বেশী থাকায় grout মিশ্রণ ভিতরে অনুপ্রবেশ করিয়া জমিয়া যাওয়ার আগেই উহা বাহির হইয়া আসে। এই সকল ক্ষেত্রে চটের টুকরা অথবা খড়ের গুচ্ছ ইত্যাদি asphalt-এর সহিত ভালভাবে সিক্ত করিয়া ছিদ্রগুলির মধ্যে অনুপ্রবেশ করাইয়া দেওয়া হয় এবং পরে grouting-এর চাপের মাত্রা কম বেশী করিয়া সফলতা লাভ করা যায়।

Grouting করিবার জন্য ছিদ্রগুলি উর্ধ্বাধ (Vertical) অথবা তির্যক

(Oblique) ধরণের হয় এবং ইহাদের ব্যাস পাঁচ সেণ্টিমিটার হইতে প্রায় তের সেণ্টিমিটার অবধি কম বেশী হয়। এই ছিদ্রগুলি বেশী গভীর করিতে হইলে diamond-drilling প্রথায় করা হয় তবে সাধারণতঃ ইহার core উত্তোলন করার প্রয়োজন হয় না। অল্প গভীর ছিদ্রগুলি অনেক সময়ে jack hammer-এর দ্বারা করা হয়, তবে এই পদ্ধতিতে প্রস্তুত grouting-এর জন্য ছিদ্রগুলি ভালভাবে জলের দ্বারা পরিষ্কার করা প্রয়োজন নচেৎ প্রস্তরচূর্ণসমূহ শিলাস্তরের সন্ধি বা ফাটগুলির মধ্যে grout মিশ্রণের অনুপ্রবেশের পথগুলি বন্ধ করিয়া দেয়। Grouting নিম্নচাপে ও উচ্চচাপে এই দুই প্রকারেই করা হইয়া থাকে। সাধারণতঃ অল্প গভীর grout-এর ছিদ্রগুলির জন্য নিম্নচাপ অবলম্বন করা হয় এবং বেশী গভীর ছিদ্রগুলির ক্ষেত্রে উচ্চচাপে grouting করা হয়। তবে এই grouting-এর চাপের মাপ আপেক্ষিক (Relative) হিসাবে গণ্য হয় কারণ কোন একটি ছিদ্রের জন্য যে চাপের মাত্রাকে উচ্চ চাপের শ্রেণীতে গণ্য করা হয়, উহাই আবার অপর এক ছিদ্রের ক্ষেত্রে নিম্নচাপ পর্যায়-ভুক্ত হইতে পারে। তবে সাধারণতঃ grouting প্রথমে নিম্নচাপে আরম্ভ করিয়া ক্রমশঃ চাপের মাত্রা বর্দ্ধিত করা হয়। বাঁধ নির্মাণের অথবা বৃহৎ আয়তনের অতি ভারী কারিগরী গৃহনির্মাণের ক্ষেত্রে প্রথমে নিম্নচাপে grouting করিবার পর ভিত্তি স্থাপন করা হয় এবং বেশ কিছুটা ভিত গাঁথিবার পর উচ্চচাপে grouting করা হয়। এই প্রথায় নিম্নস্থ সকল রকমের ফাট বা সন্ধিগুলি পূরণ হইয়া একটি দুর্ভেদ্য শিলাখণ্ডের সৃষ্টি করে। বাঁধের ভিত্তিস্থানের তলদেশ এইরূপ grouting করিবার ফলে ঐ বাঁধের জলাধার হইতে জলক্ষরণজনিত উহার ভিত্তিস্থানের কোনরূপ ক্ষতিসাধন হয় না। এক কথায় এইরূপ grout করা শিলাসংস্তর বাঁধের heel-এর দিকে cut-off দেওয়ালের কাজ করে। কার্যক্ষেত্রে দেখা গেছে যে প্রথমে ভিত্তিস্থানে প্রয়োজনীয় grouting অগভীর ছিদ্রসমূহে করিবার পর ঐ স্থানে বেশ কিছুটা গাঁথনি করিলে উহার ভারেতে পরবর্তী উচ্চ চাপে grouting-এর সময়ে grout মিশ্রণ উপরের দিকে নিকটবর্তী কোন সন্ধি বা ছিদ্র দিয়া উঠিয়া আসে না। Grouting-এর জন্য ছিদ্রগুলির মধ্যে ব্যবধান কিরূপ হইবে তাহা অভিজ্ঞতার দ্বারা স্থির করা হয় এবং grouting-এর সময়ে কি পরিমাণ মিশ্রণ অনুপ্রবেশ করিতেছে এবং উহাতে চাপের মাত্রা কিরূপ ব্যবহার করা হইতেছে এই সকল তথ্য হইতে এই ব্যবধানের হিসাব পাইতে সুবিধা হয়। তবে সাধারণতঃ নিম্নচাপে grouting-এর

জন্য ছিদ্রগুলি ছয় মিটার হইতে পনর মিটার অবধি গভীর হয় এবং উহাদের মধ্যে ব্যবধান ছয় মিটার রাখা হয়। এই ছিদ্রগুলি সারিবদ্ধ ভাবে করা হয় এবং কার্য্যক্ষেত্রে ফলাফলের উপর নির্ভর করিয়া কখনও কখনও ছিদ্রগুলি করা থাকিলেও কয়েকটি ছিদ্র ছাড়িয়া ছাড়িয়া grouting করা হয়। Grouting-এর সময়ে মিশ্রণের সবটাই কাজে লাগে না এবং এমন কি নিম্নচাপে grouting করিবার সময়েও কিছুটা মিশ্রণ কোন না কোন ছিদ্র বা সন্ধিযুক্ত স্থান দিয়া উপরের দিকে বহিয়া যায় এবং ফলে অহেতুক নষ্ট হয়। তবে উচ্চচাপে grouting করিলে অনেক সময়ে ঐ grout-এর ছিদ্র হইতে বেশ কিছু দূরে শিলাসংস্তরের মধ্য দিয়া grout মিশ্রণ ভূপৃষ্ঠে নিক্ষিপ্ত হয়। এই কারণে দুইটি পদ্ধতিতে grouting করা হয় যথা—(a) Stage এবং (b) Packer methods ; Stage পদ্ধতি অনুযায়ী ভূপৃষ্ঠে নিকটস্থ সন্ধিযুক্ত স্তরগুলি অবধি ছিদ্র করিয়া grouting নিষ্পন্ন করা হয়। তৎপরে ছিদ্রগুলি হইতে grout মিশ্রণ পরিষ্কার করিয়া আবার ঐ ছিদ্রগুলির বেধ (Depth) বর্দ্ধিত করা হয় ও ঐ বর্দ্ধিত বেধ অবধি যে সকল স্তরগুলি ভূছিদ্রকরণ যন্ত্রের দ্বারা বিদ্ধ হইয়াছে সেগুলির ফাট অধিকতর উচ্চচাপে grouting-এর দ্বারা পূরণ করা হয়। এই পদ্ধতিতে কল্পিত লেভেল অবধি ভূনিম্নে grouting করা হয়। Packer পদ্ধতিতে প্রথমেই কল্পিত গভীরতম লেভেল অবধি grouting-এর জন্য ছিদ্রগুলি করা হয়। পরে সর্বনিম্ন লেভেল হইতে আরম্ভ করিয়া উপরের দিকে কিছুদূর অবধি শিলাস্তরগুলি grout মিশ্রণের দ্বারা পূরণ করা হয়। তারপর ঐ grout-এর ছিদ্রগুলির যতদূর অবধি grouting নিষ্পন্ন হইয়াছে সেই লেভেল হইতে তলদেশ অবধি ঐ গুলিকে বন্ধ করিয়া দেওয়া হয় এবং ঐ লেভেল-এর উপরিভাগে কিছুদূর অবধি চাপের মাত্রা কম করিয়া আবার grouting করা হয়। এইভাবে ক্রমশঃ ভূপৃষ্ঠের নিকটতম সন্ধি, ফাট ইত্যাদি grouting-এর দ্বারা পূরণ করা হয়। যে কোন স্থানে কল্পিত grouting কার্য্য প্রথমে কয়েকটি ছিদ্রে পরীক্ষামূলকভাবে করা উচিৎ এবং ছিদ্রগুলির নিকটবর্তী স্থানে drill করিয়া grouted স্তর হইতে core সংগ্রহ করিয়া তাহার পরীক্ষা দ্বারা দেখা উচিৎ যে grout মিশ্রণ কি পরিমাণে এবং কি অবস্থায় শিলাসমূহের মধ্যে অনুপ্রবেশ করিতে সক্ষম হইয়াছে এবং ফলাফল আশাপ্রদ না হইলে অনেকক্ষেত্রে grouting-এর কল্পনা বর্জন করিতে হয়। যদিও ভিত্তিস্থানে পাতালিক ফাটসমূহ সকলদেশেই বর্তমানে

grouting-এর দ্বারা পূরণ করা হয়, তবে এখনও পর্য্যন্ত এই পদ্ধতি অপরিণত বিবেচিত হইতে পারে এই কারণে যে ইহার ব্যবহারে যে সকল স্থিতিমাপ (Parameter) ব্যবহার হয় সেগুলি এখনও সঠিকরূপে নির্ধারিত হয় নাই। কার্য্যক্ষেত্রে পরীক্ষামূলকভাবে ইহার ব্যবহার করা হয় এবং ক্ষেত্রবিশেষে অনেকটা অনুমানের উপর নির্ভর করিয়া সফলতা অর্জ্জন করা হয়।

একাদশ অধ্যায়

ভূমিকম্প

সারা পৃথিবীতে মানবজাতির সভ্যতা বিস্তারের সাথে সাথে ইতিহাসে ভূপৃষ্ঠে ভয়াবহ ভূকম্পনের বৃত্তান্ত লিপিবদ্ধ আছে এবং বহু সর্বনাশা ভূকম্পনের ফলে অনেক সুসজ্জিত প্রাচীন নগরের সম্পূর্ণ বিনাশ সাধন হইয়াছে। তবে প্রচণ্ড ভূকম্পন সাধারণতঃ বৃহৎ পর্বতমালার সন্নিকটে সীমাবদ্ধ দেখা যায়। অনেকগুলি বিধ্বংসী ভূকম্পন প্রশান্ত মহাসাগরীয় অঞ্চলে ঘটিয়াছে এবং এই কারণে ইহাকে একটি ভূকম্পমণ্ডল হিসাবে গণ্য করা হয়। আমেরিকার পশ্চিম উপকূলে এবং জাপানে প্রায়ই বিভিন্ন তীব্রতার ভূকম্পন ঘটে। ভারতবর্ষে (উপমহাদেশে) পূর্বের বেশ কয়েকটি ইতিহাস প্রসিদ্ধ ভয়ঙ্করী ভূকম্পন হিমালয় পর্বত ও তাহার পাদদেশে ঘটিয়াছে এবং এখনও মধ্যে মধ্যে ঘটে। ইহাদের মধ্যে 1897 এবং 1950 খ্রীষ্টাব্দের আসামের ভূমিকম্প, 1934 খ্রীষ্টাব্দে বিহারের এবং সংলগ্ন নেপালের ভূমিকম্প, 1935 খ্রীষ্টাব্দে কোয়েটার (বেলুচিস্তান) ভূমিকম্প এবং বর্তমানে হিমাচল প্রদেশ ও উত্তর পাকিস্তানের Karakoram পর্বতমালায় ভূমিকম্প বিশেষ উল্লেখযোগ্য।

কারিগরী ও বৃহদাকার গঠনসমূহের উপর ভূমিকম্পের প্রতিক্রিয়া

ভূমিকম্পের প্রাকৃতিক লক্ষণ, উহার তীব্রতা ও কল-কারখানা প্রভৃতি বৃহদাকারের গঠনসমূহের উপর হানিকর প্রভাব সম্বন্ধে সম্যক জ্ঞান ইঞ্জিনীয়ার এবং কারিগরী ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের অবশ্য থাকা বাঞ্ছনীয় যাহাতে ভূকম্পমণ্ডলের মধ্যে গঠনকার্য্য আরম্ভের পূর্বে উপযুক্ত প্রতিরোধ-মূলক ব্যবস্থা গ্রহণ করা সম্ভব হয়। ভূকম্পনজনিত তথ্য মোটামুটি দুইটি প্রধান ভাগে শ্রেণীভুক্ত করা যায় যথা—প্রথমে ঐ মণ্ডলে ভূকম্পনের অভীক্ষণতা (Frequency) ও তীব্রতা এবং দ্বিতীয়তঃ কল্পিত গাঁথনি সম্পন্ন করিলে তাহার কি পরিমাণ ক্ষতিসাধন হইতে পারে সেই সকল বিষয়ের তথ্যসমূহ। ভূকম্পনের তীব্রতার কম বেশী হয় এবং এই

তীব্রতার মাপানুযায়ী উহাদের শ্রেণীভাগ হয়। ইঞ্জিনীয়ারগণ কোন গঠনের design প্রস্তুতকালে উহা ভূকম্পনের কতটা তীব্রতা সহ্য করিতে পারিবে অর্থাৎ কোন মানের তীব্রতাসহ ভূকম্পন ঘটিলে ঐ গাঁথনির কোনরূপ ক্ষতিসাধন হইবে না ইহার মূল্যায়ন করিতে চেষ্টা করেন এবং ঐ তীব্রতাসম্পন্ন ভূকম্পন ঐ এলাকার মধ্যে ঘটিবার কিরূপ সম্ভাবনা সেই সম্বন্ধে তথ্য আহরণ করিতে বিশেষ সচেষ্ট হন। এই ব্যাপারে ঐ এলাকায় পূর্বঘটিত ভূকম্পনসমূহের বিভিন্ন বিষয়ের তথ্যাদির পরিসংখ্যার পর্যালোচনা বিশেষ প্রয়োজনীয় হয় এবং স্থানীয় ভূতাত্ত্বিক বৈশিষ্ট্য অনেকাংশে সহায়তা করে। সাধারণ গৃহাদি বা কারখানাসমূহের নির্মাণে নিরাপত্তার জন্য যেরূপ design প্রস্তুত করা হয় উহা ভূকম্পমণ্ডলে নির্মাণকার্য্যে উপযুক্ত হয় না এবং সেইহেতু ভূকম্পনের তীব্রতা ও অভীক্ষণতা সম্বন্ধে আহরিত তথ্যের উপর নির্ভর করিয়া design-এর রদ বদল করা হয়।

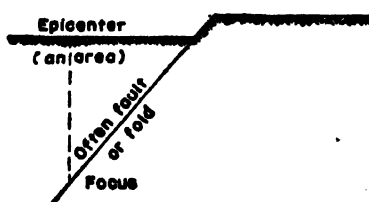
ভূকম্পনের তীব্রতা (Intensity) নির্ণয়ের জন্য উহার বিধ্বংসী কার্য্যের পরিমাপনের প্রয়োজন হয়। এই পরিমাপন বহুলাংশে মানসিক কল্পনাপ্রসূত এবং তুলনামূলক। কিন্তু ভূকম্পনের মান নির্ণয় ভূকম্পলেখক যন্ত্রের (Seismograph) সাহায্যে করা হয় এবং ইহা এই ভূকম্পনের দ্বারা মুক্ত শক্তির (Released energy) পরিমাণ নির্দেশ করে। সুতরাং যে কোন ভূকম্পনের তীব্রতা ও মান বলিতে একই জিনিষ বোঝায় না। ভূকম্পনের তীব্রতার মূল্যায়ন সাধারণতঃ কয়েকটি প্রচলিত নিয়মানুসারে যথা Rossi-Forel Scale অথবা রূপান্তরিত (Modified) Mercalli Scale অনুযায়ী করা হয়। তবে এই scale-গুলি কোনরূপ যন্ত্র নহে, পরন্তু মানুষের চেতনাশক্তি (Sensibility) এবং ভূকম্পজনিত ধ্বংসনীয়তার মাত্রার উপর নির্ভর করে। বস্তুতঃপক্ষে যে কোন প্রবল ভূকম্পন ঘটিলে উহার সমীক্ষাকয়ে দুইটি প্রশ্ন করা হয় এবং উহাদের উত্তরের বশে ঐ ভূকম্পনের তীব্রতার scale নির্ধারিত হয়। এই প্রশ্ন দুইটি হইল যথাক্রমে—(a) কোথায় এবং কি প্রকার ভূকম্পন অনুভূত হইয়াছে, এবং (b) ঐ ভূকম্পনের ফলে কিরূপ ক্ষতিসাধন হইয়াছে। শেষোক্ত প্রশ্নের উত্তর বিষয়ঘটিত হওয়ায় সঠিক মূল্যায়ন করা সম্ভব হয়, কিন্তু প্রথমোক্ত প্রশ্নের উত্তরে যে তথ্য সংগৃহীত হয় উহা উত্তরদাতার ব্যক্তিগত অধিষ্ঠান এবং অনুভূতিশক্তির উপর নির্ভরশীল যাহাকে এক কথায় "personal equation" আখ্যা দেওয়া হয় এবং এই কারণে ইহা আনুমানিক তথ্য হিসাবে

গণ্য হয়। দেখা গেছে যে একই স্থানে অধিষ্ঠিত দুই ব্যক্তির মধ্যে একজন কোন একটি ভূমিকম্পজনিত কম্পন অনুভব করিলেন অথচ অপরজনের কোন অনুভূতি হইল না। আবার ক্ষয়ক্ষতি সম্বন্ধেও অনেক সময়ে ভিন্ন ভিন্ন ব্যক্তির মাধ্যমে বিভিন্ন ধরণের হিসাব পাওয়া যায়। কিন্তু ভূকম্পনের মান ও কম্পনজনিত মুক্ত শক্তির হিসাব seismograph-এর scale অনুযায়ী করা হয় এবং ইহাকে Gutenberg-Richter Scale বলা হয়।

ভূকম্পন ও তজ্জনিত ভূ-তরঙ্গ (Earth-waves) সম্বন্ধে ভূকম্পবিদ্যা (Seismology) অনুযায়ী অনুশীলন করা হয় এবং মূলতঃ ইহা ভূ-বিজ্ঞানের অন্তর্ভুক্ত। এই ভূকম্পবিদ্যা সম্বন্ধে বিস্তারিত পর্য্যালোচনা এই গ্রন্থে স্থান পায় না, তবে কারিগরী গঠনকার্য্যে ইহার সম্বন্ধে উপযুক্ত জ্ঞানের প্রয়োজন, বিশেষতঃ ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের সমীক্ষায় কিরূপ ভূতাত্ত্বিক বৈশিষ্ট্য ভবিষ্যতে বিপর্যয় সৃষ্টি করিতে পারে সে সম্বন্ধে অনুসন্ধান গুরুত্বপূর্ণ ান অধিকার করে। বর্ত্তমানকালে ভূ-পদার্থিক (Geophysical) অনুসন্ধানে ভূনিম্নে বিস্ফোরণ ঘটাইয়া কৃত্রিম ভূকম্পনের সৃষ্টি করা হয়। কিন্তু প্রাকৃতিক ভূকম্পন তিনটি প্রধান কারণে ঘটে যথা—(i) অভিবিবর্তনিক (Tectonic) অর্থাৎ গাঠনিক বৈষম্য ; (ii) পাতালিক পরিবর্ত্তন (Plutonic Changes) ; এবং (iii) অগ্ন্যুৎপাত (Vulcanism)। তন্মধ্যে বেশীর ভাগ ভূকম্পনই tectonic শ্রেণীর। ভূনিম্নে বিভিন্ন স্তরের মধ্যে ক্রমাগত টানের (Strain) বৃদ্ধির ফলে তৎসহ স্থিতিস্থাপক (Elastic) শক্তিও বৃদ্ধি পায় এবং চরম অবস্থায় উপনীত হইলে ঐ টানের জন্য চ্যুতির (Fault) সৃষ্টি হয়। এই চ্যুতি ঘটিবার সাথে সাথে স্থিতিস্থাপক শক্তির বিনাশ ঘটে এবং ঐ বিনাশ ঘটিবার সময়ে সমকালীন ভূ-তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। এই পদ্ধতিতে tectonic ভকম্পন ঘটে বলিয়া বিশ্বাস। পাতালস্থ যে স্থান হইতে চ্যুতির উদ্ভবহেতু ভূকম্পন ঘটে সেই স্থানকে ঐ ভূকম্পনের কেন্দ্র (Focus) গণ্য করা হয় এবং ভূপৃষ্ঠে ঐ কেন্দ্রের প্রক্ষেপ (Projection) জনিত স্থান উহার উপকেন্দ্র (Epicentre) বলিয়া বিবেচিত হয়। পর পৃষ্ঠার চিত্রটি হইতে ইহাদের সম্বন্ধে সঠিক ধারণ করা সহজ হইবে।

এই উপকেন্দ্রে এবং তৎসংলগ্ন স্থানেই সংশ্লিষ্ট ভূকম্পনের প্রচণ্ডতা সর্বাধিক অনুভূত হয় ও ক্ষতির মাত্রাও সর্বাপেক্ষা বেশী হয়। সুতরাং ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ তাঁহার সমীক্ষাকালে এই উপকেন্দ্র সঠিকভাবে নিরূপণ করিতে সচেষ্ট হন এবং ঐ বিষয়ে সফলতার উপর তিনি কোন স্থান

গৃহ নির্মাণাদি কার্য্যের পক্ষে অবশ্য বর্জনীয় সেবিষয়ে পরামর্শ দিতে সক্ষম হন। প্রচণ্ড ভূকম্পনের উপকেন্দ্রের নিকটবর্তী স্থানে ভূপৃষ্ঠে ভূ-তরঙ্গ অনেকের দৃষ্টিগোচরে আসে তবে সংগৃহীত তথ্য অনেক সময়ে

Fig. 31

Focus and Epicentre of an earthquake (rough sketch)

অতিরঞ্জিত বলিয়া মনে হয়। কারিগরী গঠনসমূহে ভূকম্পনজনিত দোলায়মান গতির সৃষ্টি হয় এবং উহা অপ্রতিহত অবস্থায় থাকিলে ক্ষতির মাত্রা কম হয়। কিন্তু এই দোলায়মান গতি অন্য কোন উপসর্গের দ্বারা প্রতিহত হইলে উহা হইতে ক্ষতির মাত্রা বৃদ্ধি পায়। ভূকম্পনজনিত দোলায়মান অবস্থাকে প্রতিহত করিতে যে শক্তি কার্য্যকরী হয় উহাকে দমনশক্তি (Damping force) বলা হয় এবং ইহা সাধারণতঃ ঘর্ষণজনিত শক্তিরই রূপান্তর। ভূকম্পলেখক যন্ত্র এত বেশী সূক্ষ্মবোধসম্পন্ন যে বহু-দূরের অতি ক্ষীণ ভূকম্পনও ইহার দ্বারা নিরূপণ করা সম্ভব হয়, কিন্তু কম্পন হঠাৎ আবির্ভাব হইলে এবং উহার মাত্রা খুব বেশী হইলে ঐ যন্ত্র বিকল হইয়া পড়ে। অথচ কারিগরী গঠনগুলি এইরূপ প্রচণ্ড ভূকম্পনে খুব বেশী ক্ষতিগ্রস্ত হয়। সুতরাং এই ধরণের ভূকম্পনের মান নির্ণয়ের জন্য অল্প সূক্ষ্মবোধের ভূকম্পলেখক যন্ত্র ব্যবহৃত হয় এবং ইহাকে Accelerometer বলা হয়। বর্তমানে পৃথিবীর যে সকল স্থানে প্রবল ভূকম্পন হয়, সেই সকল স্থানে এইরূপ accelerometer যন্ত্রের ব্যবহার খুব বৃদ্ধি পাইয়াছে এবং এই যন্ত্রের সাহায্যে ভূকম্পন হেতু ভূ-তরঙ্গের বেগের (Acceleration) মাত্রা এবং সংশ্লিষ্ট গঠনসমূহের স্থানচ্যুতির পরিমাণ নিরূপণ করা সম্ভব হইয়াছে। যন্ত্রের সাহায্যে নিরূপিত এই acceleration 'a' চিহ্ন দ্বারা নির্দেশিত হয় এবং মাধ্যাকর্ষণ শক্তি 'g'র সহিত $\frac{a}{g}$ অনুপাতের সংখ্যা গণনার দ্বারা স্থির করা হয়। যে কোন

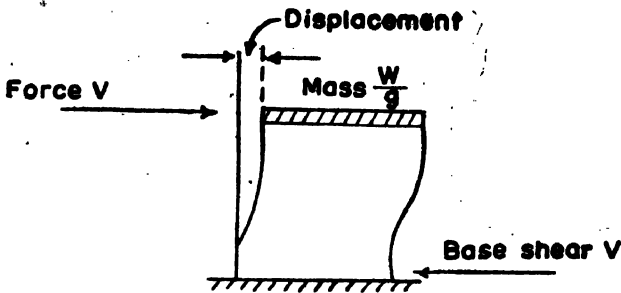
ভূকম্পনের বেগের মাত্রা অধিক হইলে ঐ কম্পনজনিত অনুভূমিক গতি এবং স্থানচ্যুতির মাত্রাও বেশী হয়। বাস্তবক্ষেত্রে দেখা যায় ভূকম্পনের সময়ে যে কোন কারিগরী গঠন বা ইমারত ইত্যাদির অবস্থা ঐ ভূকম্পনের অভীক্ষণতা এবং কার্য্যকরী সমকালীন দমনশক্তির উপর বহুলাংশে নির্ভরশীল। ইঞ্জিনীয়ারগণ এই অবস্থা নিরূপণের জন্য বিভিন্ন প্রকারের গঠনের প্রতিরূপ (Model) তৈয়ার করিয়া তাহাদের উপর কৃত্রিম কম্পনের প্রভাব নিরীক্ষণ করেন এবং কম্পনের শক্তিবৃদ্ধির সাথে সাথে উহার প্রভাবের তারতম্য কিরূপ হয় তাহা লিপিবদ্ধ করেন। এই সকল তথ্য বিশ্লেষণ করিয়া ভূকম্পনজনিত বিপর্যয় হইতে গঠন সমূহকে কি প্রকারে নিরাপদ করা যাইতে পারে সেই বিষয়ে এবং উহাদের নির্মাণ পদ্ধতির রদ বদলে সক্ষম হওয়া যায়। যে model পরীক্ষামূলক হিসাবে ব্যবহৃত হয় উহার ওজন যদি 'W' গ্রাম হয়, তাহা হইলে W/g সঙ্কেত দ্বারা উহার mass-কে নির্দেশিত করা হয় এবং 'g' (981 cm./sec^2) বলিতে মাধ্যাকর্ষণের acceleration বুঝায়। যে কোন গঠন ভূকম্পনের দ্বারা আক্রান্ত হইয়া উহার ভিত্তিস্থান হইতে যদি বিচ্ছিন্ন হয়, যে শক্তিদ্বারা এই বিচ্ছিন্ন করার কার্য্য সমাধা হয় উহা নিম্নলিখিত অঙ্কসূত্র দ্বারা নির্ধারণ করা হয় যথা :—

$$V = \frac{W}{g} \text{(mass)}\, a \text{ or } \frac{a}{g} W,$$

যেখানে 'V' বলিতে ছিন্নকরণ শক্তি (Base shear force) বুঝায়, 'W' ঐ গঠনের ওজন এবং 'g' মাধ্যাকর্ষণ শক্তির বেগ নির্দেশ করে। মোটামুটি হিসাবে দেখা যায় যে কোন গঠন কম্পনজনিত দোলায়-মান অবস্থায় উপনীত হইলে উহার দোলনে যে শক্তি প্রযুক্ত হয় তাহা ঐ দোলনের acceleration 'a'-র সহিত গঠনপিণ্ডের (Mass) গুণফলের সমান। পর পৃষ্ঠায় চিত্রে উপরোক্ত model-এর একটা রেখাচিত্র (Sketch) দেখান হইয়াছে।

কার্য্যক্ষেত্রে 'a' র সংখ্যা নিরূপণ করা এরূপ সরল অঙ্কের দ্বারা সম্ভব হয় না। যে কোন ভূকম্পনপ্রসূত দোলনের সর্বাধিক acceleration যদি 'A' হয়, তাহা হইলে সর্বাধিক ছিন্নকরণ শক্তি $V = \frac{A}{g} W$ অঙ্কসূত্রের দ্বারা নির্ধারিত হয়। এই অঙ্কসূত্রানুযায়ী যে কোন গঠনের design করিলে দেখা যায় যে উহা ভূকম্পনজনিত ধ্বংসের হাত হইতে বহুলাংশে

রক্ষা পায়। তবে $\frac{A}{g}$ এই অনুপাতের তত্ত্বীয় (Theoretical) মূল্য এত ঊর্ধ্বমাত্রার যে বাস্তবক্ষেত্রে ঐ হিসাবানুযায়ী design প্রস্তুত করা সম্ভব হয় না। অধিকন্তু ভূকম্পনের সময়ে বৃহৎ অট্টালিকা সমূহের দমন শক্তি এবং উহাদের অল্পবিস্তর হেলিয়া পড়ায় ও স্খলিত হওয়ায় ছিন্নকরণ শক্তির

Fig. 32

Spring-mass model of a structure.

প্রভাব অনেকাংশে হ্রাস পায়। বহু পরীক্ষামূলক প্রতিরূপ ব্যবহার করার ফলে এবং বাস্তবক্ষেত্রে অনেকগুলি বিধ্বংসী ভূকম্পনজনিত ছিন্নকরণ শক্তির মাপ নিরূপণের ফলে V=CW এই অঙ্কসূত্রের ব্যবহার প্রচলিত হইয়াছে। এক্ষেত্রে 'C' বলিতে base shear-এর গুণক (co-efficient) বুঝায়। ভূকম্পনজনিত ক্ষতি নিরোধকল্পে গাঁথনি সমূহের design প্রস্তুতকালে অনুমান করা হয় যে ভূমিকম্পের সময়ে যে কোন গাঁথনির অনুভূমিক গতিবেগ মাধ্যাকর্ষণজনিত বেগের (g) এক-দশমিক ভাগ হয়। অর্থাৎ গাঁথনির design-এ যে সকল স্থিতীয় (Static) শক্তির কার্য্যকরীতা সম্বন্ধে অনুমান করা হয় তাহা ছাড়া ঐ গাঁথনির সর্বাধিক ভারের দশ-শতাংশ অনুভূমিক গতীয় (Dynamic) শক্তি হিসাবে কার্য্যকরী হইবে বলিয়া ধরা হয়। সুতরাং এই অনুভূমিক গতিবেগজনিত গাঁথনি সমূহের ভিত্তি-স্থানের অগ্র পশ্চাৎ সঞ্চালনে যাহাতে কোন ক্ষতি না হয় সে কারণ ভূকম্পীয় (Seismic) safety factor প্রয়োগ করা হয়। সাধারণতঃ ইহা বাঁধ নির্মাণকল্পে 0.1 g ধার্য হয়, তবে অবস্থা বিশেষে ইহা 0·3 g অবধি বর্দ্ধিত করা হয়। কার্য্যক্ষেত্রে বাঁধের ভিত্তিস্থানের প্রস্থ বর্ধিত করিয়া এই safety factor আরোপিত করা হয় যদিও প্রস্থবৃদ্ধির জন্য বাঁধের নির্মাণ খরচও বৃদ্ধি পায়।

বৃহদাকার গঠনসমূহের নির্মাণে ভূকম্পনজনিত ক্ষতির প্রতিরোধ ব্যবস্থা

কারিগরী এবং বৃহদাকার অট্টালিকা ও ইমারত ইত্যাদি ইস্পাতের কাঠামো (Frame) রচনা করিয়া নির্মাণ করিলে দেখা যায় এমনকি তীব্র ভূকম্পনগুলেও ঐ সকল গাঁথনি বিপর্যয়মুক্ত থাকে এবং কিছুটা ক্ষতিগ্রস্ত হইলেও সম্পূর্ণ ধ্বংসপ্রাপ্ত হয় না। কংক্রীটের গাঁথনিও তীব্র ভূকম্পনে অনেকটা রক্ষা পায় যদিও দেওয়াল ইত্যাদিতে ফাট দেখা দেয়। সাধারণ ইষ্টকের ও চূণ বালি মশলার গাঁথনির ক্ষতিগ্রস্ত হইবার প্রবণতা বেশী হয়। তবে সিমেণ্ট দ্বারা গাঁথনি করিলে এবং ঐ ইমারতের ভিত দৃঢ়-ভাবে ও বেশ গভীর তলদেশ হইতে গাঁথিলে অনেকক্ষেত্রে ভূকম্পনের তীব্রতা থাকিলেও উহার ক্ষতিকর প্রভাব প্রতিহত হয়। দেখা গেছে যে ভূপৃষ্ঠে কোন চ্যুতিতলের (Fault plane) নিকটস্থ না হইলে ভূকম্পন জনিত যে দোলায়মান গতির সৃষ্টি হয় উহা সকলক্ষেত্রেই গঠনসমূহের উল্লেখযোগ্য ক্ষতিসাধন করে না।

ভূপৃষ্ঠে কোন ভূকম্পন অথবা অন্য কোন অকস্মাৎ ধাক্কাজনিত যে সঞ্চালন সৃষ্টি হয় উহাকে উর্ধ্বাধ, উত্তর এবং পূর্ব এই তিনদিকে একে অপরের সহিত লম্ব (Perpendicular) এইভাবে বিশ্লেষণ করা যায়। অনুভূমিক তলে কম্পনের বিশ্লেষিত সঞ্চালনের মাত্রা উর্ধ্বাধদিকের অপেক্ষা অনেকগুণ বেশী হয়। এই কারণে ভারী ইমারতসমূহের ভিত্তি-গঠন খুব বিস্তৃতভাবে এবং গভীর তলদেশ হইতে করিলে অনুভূমিক সঞ্চালনের মাত্রা অপেক্ষাকৃত অধিক হইলেও সাধারণ ভূমিকম্পে ইহাদের বিশেষ ক্ষতিসাধন করিতে পারে না। কিন্তু গাঁথনি যদি হালকা ধরণের হয় এবং উহার ভিত্তি অগভীর হয় সেস্থলে উর্ধ্বাধ দিকে কম্পনের বিশ্লেষিত অংশের প্রভাব বেশ কার্য্যকরী হয়। ফলে ধ্বংসের মাত্রা খুব উল্লেখযোগ্য হয়। তদুপরি জলপীঠ ভূপৃষ্ঠের নিকটস্থ থাকিলে ক্ষতির মাত্রা বৃদ্ধি পায় কারণ দেখা গেছে যে ভিজা মৃত্তিকা কম্পনের সঞ্চারণে খুব বেশী সহায়ক হয়। সহরে বা কারখানায় জলসরবরাহের জন্য ভূপৃষ্ঠে উন্নীত ধরনের ইস্পাতের কাঠামো রচনা করিয়া তাহার উপরে জলাধার রাখা হয়। এই সকল উন্নীত ধরণের জলাধারের পায়াগুলি কংক্রীটের নির্মাণ করিয়া এবং ভিত্তিস্থানে pile করিয়া গভীর তলদেশ হইতে গাঁথিলে ঐগুলি নিম্নস্থ শিলাস্তর অথবা মৃত্তিকার সহিত দৃঢ়ীভূত হয় এবং ভূকম্পনের অনুভূমিক সঞ্চালনের দ্বারা বিশেষ প্রভাবান্বিত হয় না।

বর্তমানে ইস্পাতের কাঠামোর পরিবর্তে re-inforced কংক্রীটের পায়া এবং জলাধার নির্মাণ করা হয় এবং ইহাদের design-এ ভূকম্পীয় safety factor প্রয়োগ করা হয়। বাঁধের ক্ষেত্রে দেখা গেছে যে ভূমিকম্পের সময়ে উহা সম্মুখ ও পশ্চাৎ দিকে নড়িতে থাকে এবং যে সময়ে উহা জলাধারের জলরাশি হইতে সম্মুখে সরিয়া যায় সেই মুহূর্তে বাঁধের উপরে ঐ অবরুদ্ধ জলরাশিজনিত উদস্থিতি (Hydrostatic) চাপ হ্রাস পায়। কিন্তু পরক্ষণেই যখন বাঁধ জলাধারের দিকে সরিয়া আসে, তখন উহার উপর উদস্থিতি চাপ বৃদ্ধি পায় এবং জলের লেভেলও উন্নীত হয়। ইহা অনুমান করা হয় যে ভূমিকম্পের সময়ে বাঁধের সংলগ্ন অবরুদ্ধ জলরাশি ঐ বাঁধের অগ্র পশ্চাৎ গতির জন্য অধিবৃত্তের (Parabola) আকার ধারণ করে। সুতরাং বাঁধ নিমাণের design প্রস্তুতকালে ভূকম্পনজনিত অবরুদ্ধ জলরাশির উদস্থিতি চাপ কি মাত্রায় হইতে পারে উহা অনুমান করিয়া সেই অনুযায়ী seismic safety factor প্রয়োগ করা হয়।

পৃথিবীর অন্যান্য দেশে বহুদিন হইতে কারিগরী গঠন সম্পর্কীয় ভূকম্পবিদ্যার চর্চা হইয়া আসিতেছে। ভারতে সর্বপ্রথম হিমালয়সংলগ্ন অঞ্চলে সুউচ্চ বাঁধ নির্মাণকল্পে ভূকম্পনের প্রভাব নির্ধারণ করিবার প্রয়োজন উপলব্ধি করা হয়। এমনকি দামোদর উপত্যকায় যে কয়েকটি বাঁধ নির্মাণের প্রকল্প করা হয়, তাহাদের উপরও ভূকম্পন কতটা প্রভাব বিস্তার করিবে সে বিষয়েও গবেষণা আরম্ভ হয়। তবে এই সকল গবেষণা মূলতঃ পূর্বের ভূমিকম্প-বিধ্বস্ত অঞ্চলসমূহ হইতে আহরিত তথ্যের উপর নির্ভরশীল ছিল এবং মাত্র অল্প কয়েকটি ক্ষেত্রে যন্ত্রাদির সাহায্যে গবেষণা করা হইয়াছে। এই সকল তথ্যের পরিসংখ্যান (Statistics) বিশ্লেষণ করিয়া বাঁধ নির্মাণের ও অন্যান্য গাঁথনির জন্য প্রয়োজনীয় ভূকম্পীয় safety factor-এর মান নির্ধারণ করা হইয়াছে। তবে যন্ত্রাদির সাহায্যে ভূকম্পীয় গবেষণা করিয়া ভূকম্পনের তীব্রতা ও গতিবেগ সম্বন্ধে যে সকল পরিমাণ সংক্রান্ত তথ্য পাওয়া গিয়াছে সেগুলি এখনও পর্য্যন্ত বর্ণনাত্মক বলা যাইতে পারে। এসকল বিষয়ের যথার্থ মান নিরূপণ দেশের বেশ কয়েকটি অংশে ভূকম্পীয় মানমন্দির প্রতিষ্ঠা করিয়া আধুনিক এবং উন্নত মানের ভূকম্পবিদ্যার চর্চার দ্বারা করা সম্ভব। বর্তমানে Roorkee বিশ্ববিদ্যালয়ে এই বিষয়ে বিশেষ গবেষণা কার্য্য চলিতেছে।

দ্বাদশ অধ্যায়

কারিগরী নির্মাণকার্য্যে ব্যবহার্য প্রাকৃতিক বস্তুসমূহ

যে কোন বৃহদাকার ইমারত ও কারিগরীগঠন পরিকল্পনার সুষ্ঠু নির্মাণ পরিমিত ব্যয়ে সম্ভব করার জন্য উপযুক্ত মানের উপাদানের সহজপ্রাপ্যতা বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ স্থান অধিকার করে। অনেক সময়ে স্থানবিশেষে কোন পরিকল্পনার নির্মাণকার্য্য অন্যান্য সকলদিক হইতে উপযুক্ত বিবেচিত হইলেও যথোপযুক্ত মানের এবং পর্য্যাপ্ত মাত্রায় গাঁথনির উপকরণের অভাবে সম্পূর্ণভাবে পরিত্যক্ত হয় অথবা শেষ পর্য্যন্ত গাঁথনির উপকরণের প্রাপ্যতার উপর নির্ভরশীল হইবার জন্য ঐ পরিকল্পিত গঠন-সমূহের design-এর অতিশয় রদ বদলের প্রয়োজন হয়।

প্রাকৃতিক (ধাতব পদার্থ ছাড়া) উপাদানসমূহের মধ্যে শিলা, বালু, পলিমাটি, মৃত্তিকা ইত্যাদি বস্তু নির্মাণকার্য্যে সাধারণতঃ ব্যবহৃত হয়। তন্মধ্যে শিলাখণ্ড বিশেষস্থান অধিকার করে এবং মানবজাতির সভ্যতা বিকাশের সুরু হইতেই ইহাদের ব্যবহারের হিসাব পাওয়া যায়। শিলা-সমূহ গাঁথনির কার্য্যে নানা আকারে ব্যবহার করা হয়। গাঁথনির প্রকারভেদে ইহাদের আকারও ভিন্ন হয়। বৃহাদাকারের শিলাখণ্ড (Masonry blocks) বড় বড় বাঁধ ও সেতুনির্মাণে স্থানে পায়। আবার ঐগুলি ভগ্নাবস্থায় অপেক্ষাকৃত ছোট আকারে (Rip rap) rock-fill বাঁধ তৈয়ারীর কাজে এবং বড় বড় মাটির embankment প্রভৃতির বায়ুমণ্ডলীয় ক্ষয়কারীশক্তির প্রতিরোধকল্পে ঢাকিয়া দেওয়ার কাজে ব্যবহৃত হয়। অনেকক্ষেত্রে অপেক্ষাকৃত ক্ষুদ্র আকারের প্রস্তরসমূহ একত্রিত অবস্থায় বিশেষ ধরণের গাঁথনির কাজে স্থান পায় এবং ঐগুলি চূর্ণ করিয়া অবস্থা বিশেষে বালুর পরিবর্ত্তে ব্যবহার করা হয়।

কারিগরী নির্মাণকার্য্যে শিলাসমূহের যোগ্যতা নিরূপণ

শিলাসমূহ নির্মাণকার্য্যের উপযুক্ত কি না তাহা উহাদের প্রাকৃতিক গুণাগুণের উপর নির্ভরশীল। সকল প্রকারের শিলাখণ্ডই গাঁথনির জন্য, বিশেষতঃ ভারী ইমারত ও কারিগরী গৃহ নিমাণের জন্য, উপযুক্ত হয় না। কারণ অনেক ধরণের শিলা অধিক পরিমাণে ভারবহন করিতে সক্ষম

হয় না। এখন শিলাসমূহের যে সকল প্রাকৃতিক গুণাবলীর উহাদের নির্মাণকার্য্যে ব্যবহার করিবার পূর্বে বিশেষভাবে পরীক্ষা করা প্রয়োজন সেইগুলি সম্বন্ধে আলোচনা করা হইতেছে। প্রাকৃতিক গুণাবলীর মধ্যে নিম্নলিখিত বিষয়গুলি এই পরীক্ষার গণ্ডীর মধ্যে স্থান পায় যথা— (a) ঘনত্ব (Density) অথবা আপেক্ষিক গুরুত্ব (Specific Gravity); (b) সরন্ধ্রতা (Porosity); (c) অবশোষণ বিশেষত্ব (Absorption characteristics); (d) প্রবেশ্যতা (Permeability); (e) অবরুদ্ধ অবস্থায় সংকোচন প্রতিরোধশক্তি (Confined compressive strength); (f) যন্ত্রীশক্তি (Shear strength); (g) প্রসার্য শক্তি (Tensile strength); (h) স্থিতিস্থাপকতার মান (Modulus of elasticity); (i) দৃঢ়ীভবনের (Consolidation) প্রবণতা; (j) রাসায়নিক বিক্রিয়াশীলতা (Chemical reactivity); (k) জল সংমিশ্রণ বিশেষত্ব (Slaking characteristics); (l) ভগ্নপ্রবণতা (Brittleness) ইত্যাদি। যে কোন প্রকারের শিলা-খণ্ডের নির্মাণকার্য্যে ব্যবহারের জন্য উহার ওজন নির্ধারণ অবশ্য প্রয়োজনীয়। এই ওজনের পরিমাণ গঠনকার্য্যে সাধারণত: প্রতি ঘন ফুটে কত পাউণ্ড অথবা প্রতি ঘন মিটারে কত টন এই হিসাবে নির্ধারণ করা হয়। এই ওজন নির্ধারণের জন্য উহার ঘনত্ব বা আপেক্ষিক গুরুত্ব জানা প্রয়োজন হয় এবং সেই কারণে ঐ শিলার সরন্ধ্রতার মাত্রা নিরূপণের আবশ্যক হয় কারণ উহার রন্ধ্রসমূহের মধ্যে আবদ্ধ শুষ্ক বাতাস অথবা জলকণা থাকিলে ঐ নির্ধারিত ওজন নির্ভুল হয় না। উপরন্তু জলের তাপমাত্রার উপর এই নির্ধারণের নির্ভুলতা নির্ভর করে এবং সঠিক নির্ধারণের জন্য জলের তাপমাত্রা 4° ডিগ্রী Centigrade হওয়া উচিৎ। কার্য্যক্ষেত্রে পরীক্ষাগারে শিলাখণ্ডের specific gravity নির্ণয়ের জন্য প্রথমে ইহাকে চব্বিশ ঘণ্টার জন্য 105° ডিগ্রী Centigrade উত্তাপে গরম করিবার পর ঠাণ্ডা হইলে ইহার ওজন (W_0) লওয়া হয়। তৎপরে উহাকে প্রায় আটচল্লিশ ঘণ্টা জলমগ্ন অবস্থায় রাখার পর জল হইতে তুলিয়া পূর্ণ অনুসিক্ত অবস্থায় উহার ওজন (W_w) লওয়া হয় এবং অব্যবহিত পরে উহাকে পুনরায় জলমগ্ন করিয়া ওজন (W_s) করা হয়। এই তিনটি ওজন হইতে নিম্নলিখিত সূত্রানুযায়ী উহার আপাত (Apparent) specific gravity (G) নির্ণয় করা হয়:

$$G = \frac{W_0}{W_w - W_s}$$

এই specific gravity কারিগরী গঠনকার্য্যে শিলাখণ্ডের ওজন নির্ধারণের ব্যাপারে ব্যবহৃত হয়। কয়েকটি খনিজ বস্তুর (Mineral) সমন্বয়ে শিলাখণ্ডের সৃষ্টি হয় এবং সেইকারণে শিলাকে mineral aggregate বলা চলে। ভারী ধাতব খনিজ পদার্থের উপস্থিতিবশতঃ শিলাসমূহের specific gravity অনেকক্ষেত্রে বৃদ্ধি পায়। যেসকল শিলা কারিগরী নির্মাণকার্য্যে সাধারণতঃ ব্যবহৃত হয় তাহাদের মধ্যে আগ্নেয় (Igneous) বা রূপান্তরিত (Metamorphic) শিলাগুলির specific gravity স্বভাবতঃ উঁচুর দিকে থাকে। পাললিক শিলাসমূহের specific gravity নিম্নাঙ্কের হয়।

কারিগরী গঠনকার্য্যে উপযুক্ত হওয়ার জন্য শিলাসমূহের সরন্ধ্রতা খুব কম হওয়া বাঞ্ছনীয়। ইহা সাধারণতঃ আয়তনের এক-শতাংশের মধ্যে সীমিত হওয়া বাঞ্ছনীয় এবং কোনমতেই পাঁচ-শতাংশের বেশী যেন না হয়। যে কোন শিলার সরন্ধ্রতা বলিতে উহার পূর্ণায়তনের অনুপাতে শিলামধ্যস্থ রন্ধ্রসমূহের মোট আয়তন কতটা তাহাই বুঝায়। পরীক্ষাগারে ইহা নির্ধারণের জন্য specific gravity নির্ণয়ের যে দুইটি ওজনফল W_0 এবং W_w সংগৃহীত হইয়াছিল তাহাদের সাহায্যে এবং শিলাখণ্ডের আয়তন (V) নির্ধারণ করিয়া নিম্নলিখিত সূত্রানুসারে সরন্ধ্রতা নির্ধারণ করা হয় :— $\frac{W_w - W_0}{V}$ এবং এই সরন্ধ্রতা ইহার আয়তনের শতকরা পরিমাণ (n) হিসাবে কতটা হইবে তাহার নির্ধারণ $\frac{W_w - W_0}{V} \times 100$ এই সূত্রদ্বারা করা হয়। তবে ইহা দেখা যায় যে অল্পমানের সরন্ধ্রতা-বিশিষ্ট শিলাসমূহ জলমগ্ন হইলে উহাদের রন্ধ্রসমূহ জলের দ্বারা প্রায় সম্পূর্ণ ভরিয়া যায়, কিন্তু রন্ধ্রের আয়তন বড় হইলে এবং পরিমাণে বেশী হইলে ঐসকল রন্ধ্রসমূহের মধ্যস্থ বাতাস জলের প্রবেশে বাধা সৃষ্টি করে। সেই কারণে সরন্ধ্রতার সঠিক নির্ধারণ বায়ুশূন্য পরিবেশে করা বিধেয়। ইহাও প্রমাণিত হইয়াছে যে শিলাসমূহের সরন্ধ্রতার সহিত উহাদের জন্মপরিচিতির এবং আপেক্ষিক গুরুত্বের বিশেষ সম্বন্ধ আছে। যেমন আগ্নেয়শিলা বা রূপান্তরিত শিলাসমূহের আপেক্ষিক গুরুত্ব পাললিক শিলার ঐ গুরুত্ব অপেক্ষা অনেক বেশী। অন্যদিকে পাললিক শিলাসমূহের সরন্ধ্রতা আগ্নেয়শিলা ও রূপান্তরিত শিলাসমূহের তুলনায় খুব বেশী।

সরন্ধ্রতা নির্ধারণের সাথে সাথে শিলাসমূহের দ্বারা অবশোষিত (Absorbed) জলের ওজন পাওয়া যায়। অবশোষিত জলের ওজন (A) W_w হইতে W_0 বিয়োগফলের সমান এবং ইহার শতকরা ওজনের হিসাব $\frac{W_w - W_0}{W_0} \times 100$ এই সূত্র হইতে নির্ধারণ করা হয়। প্রাকৃতিক অবস্থায় দেখা যায় যে শিলাসমূহ বহুদিন জলমগ্ন থাকিলেও উহাদের রন্ধ্রসমূহ সম্পূর্ণ জলে ভরিয়া যায় না। পরীক্ষা করিয়া দেখা গেছে যে গ্র্যানিট (Granite) পাথরের ন্যায় দৃঢ় সংবদ্ধ (Compact) শিলা এক বৎসর জলমগ্ন থাকা সত্ত্বেও উহার সংপৃক্তির (Saturation) পরিমাণ 66 (%) শতাংশের বেশী হয় না। এমনকি অনেক গ্র্যানিট পাথরের এই পরিমাণ 40 (%) শতাংশের কিছু বেশী হয়।

সাধারণতঃ শিলাখণ্ড নির্মাণকার্য্যে ব্যবহৃত হইলে উহা (i) সংকোচন চাপ (Compressive stress); (ii) যন্ত্রীচাপ (Shear stress); এবং (iii) প্রসার্য চাপ (Tensile stress) এই তিন প্রকার চাপের সম্মুখীন হয়। সংকোচন চাপের জন্য উহার আয়তন হ্রাস, যন্ত্রীচাপের দ্বারা উহার বিভক্ত হওয়া ও পৃথকীকৃত অংশসমূহের মধ্যে সঞ্চালন এবং প্রসার্য চাপের দ্বারা বিদীর্ণ হওয়া এই তিন প্রকার বিপত্তি দেখা দেয়। সুতরাং এই তিন বিষয়েই মনোনীত শিলাখণ্ডের পরীক্ষার প্রয়োজন এবং এই সম্মিলিত পরীক্ষার দ্বারা মনোনীত শিলাখণ্ডের সংকোচন প্রতিরোধ-শক্তির পরিমাপ করা হয়। শিলাখণ্ডের প্রসার্য চাপ সহনের ক্ষমতা খুব কম। এই ব্যাপারে সাধারণ মৃত্তিকা ও শিলাখণ্ডসমূহ প্রায় একই পর্য্যায়ভুক্ত দেখা যায় এবং সেই কারণে যেখানে প্রসার্য চাপের পীড়ন সহ্য করিতে হইবে এইরূপ গঠনকার্য্যের জন্য শিলাখণ্ড অনুপযুক্ত বিবেচিত হয়। উপরোক্ত চাপ সমূহের পরিমাণ সাধারণতঃ প্রতিবর্গ সেণ্টিমিটারে কত গ্রাম এই হিসাবে মাপ করা হয়। পরীক্ষাধীন শিলাখণ্ডের পার্শ্বস্থানে কোনরূপ বেষ্টনী না দিয়া উহার উপর ভার চাপান হয় এবং ক্রমাগত ভার বৃদ্ধি করা হয় যতক্ষণ অবধি উহা ভাঙ্গিয়া না পড়ে। যদি শিলা-খণ্ডের 'A' বর্গ সেণ্টিমিটার তির্যকচ্ছেদের (Cross section) উপর 'P' গ্রাম ওজনের সর্বাধিক ভার বশতঃ ঐ শিলাখণ্ড ভাঙ্গিয়া পড়ে, সেক্ষেত্রে উহার সর্বাধিক সংকোচন প্রতিরোধ শক্তি $p = \frac{P}{A}$ এই সূত্রানুযায়ী নির্ধারিত হয়। সাধারণতঃ আগ্নেয়শিলাসমূহ, কোয়ার্টজাইট (Quartzite) এবং কয়েক

প্রকারের সংহত (Compact) বালুশিলার সংকোচন চাপ সহনের ক্ষমতা খুব বেশী। প্রকেলাসিত (Porphyritic) আগ্নেয়শিলা সমূহের এই চাপ সহনের ক্ষমতা উহাদের সরন্ধ্রতার পরিমাণের উপর অনেকাংশে নির্ভরশীল এবং porphyry-গুলি যত বেশী সংহত অবস্থায় থাকে, ততই ঐ প্রকারের শিলাগুলির সংকোচন প্রতিরোধ ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়। দেখা গেছে যে অবিশরিত এবং কঠিন ব্যাসল্ট (Basalt) পাথর বিনা বেষ্টনীতে (Unconfined state) প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে 60,000 পাউণ্ড অবধি ভার বহন করিবার শক্তি রাখে। শিলাসমূহের সংকোচন প্রতিরোধ শক্তি উহাদের গ্রথন (Texture) বৈশিষ্ট্য দ্বারা প্রভাবান্বিত হয়, যথা সূক্ষ্মদানাবিশিষ্ট (Fine-grained) বালুশিলা মোটাদানাবিশিষ্ট (Coarse-grained) বালুশিলা অপেক্ষা অধিকমাত্রায় ভারবহনশীল। শিলাসমূহের উপাদানগুলির অন্তর্গ্রথিত (Interlocking) বৈশিষ্ট্যের উপরও উহাদের ভারবহন ক্ষমতার তারতম্য হয়। অনুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে যে সকল আগ্নেয় এবং রূপান্তরিত শিলাসমূহের মধ্যে কেলাসগুলির (Crystals) অন্তর্গ্রথন বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয়, ঐ সকল শিলাগুলি অধিক মাত্রায় ভার বহনে সক্ষম হয়। তবে পাললিক শিলার ক্ষেত্রে বিভিন্ন দানাগুলির মধ্যস্থলী (Interstitial) সংশ্লেষণ (Cementation) মাধ্যম (Medium) বহুলাংশে গ্রথন বৈশিষ্ট্যের ন্যায় ভারবহন ক্ষমতার বিষয়ে প্রভাব বিস্তার করে; বিশেষ করিয়া বালুশিলা, কংগ্লোমারেট এবং খণ্ডিকর (Breccia) এই কয় প্রকার শিলার ক্ষেত্রে এই অবস্থা পরিলক্ষিত হয়। আবার ঐ সংশ্লেষণ মাধ্যম যদি গৌণ (Secondary) সিলিকা হয়, সেস্থলে পাললিক শিলা অত্যধিক সংকোচন চাপ সহিতে সক্ষম হয়। উপরোক্ত তথ্যগুলির সঙ্কলনে নির্বাচিত শিলার খনিজতত্ত্ব সম্বন্ধীয় (Mineralogical) এবং শিলাবীক্ষণিক (Petrographical) পরীক্ষার বিশেষ প্রয়োজন হয়। এই ব্যাপারে অনুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্য ব্যতিরেকে কোন কিছু জানা সম্ভব হয় না এবং ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ কারিগরী গঠন উপাদানের নির্বাচনে এক অতিশয় গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করেন।

পাললিক শিলা ও রূপান্তরিত শিলাসমূহের অধিক পরিমাণে সংকোচন চাপ সহনের ক্ষমতা যথাক্রমে উহাদের সংস্তরায়ণতলের (Bedding plane) এবং পত্রায়ণতলের (Foliation plane) উপর লম্বদিক হইতে চাপ প্রয়োগের উপর নির্ভর করে। শিলাসমূহ জলমগ্ন থাকিলে উহাদের রন্ধ্রসকল জলপূর্ণ হইয়া পড়ে এবং এই কারণে উহাদের সংকোচন প্রতিরোধ

শক্তি হ্রাস পায়। সুতরাং শিলাসমূহের সরন্ধ্রতার পরিমাণ বেশী হইলে উহাদের সংপৃক্ত হওয়ার সম্ভাবনাও ঐ অনুপাতে বেশী হয় এবং ফলে সংকোচন প্রতিরোধ শক্তি হ্রাস পায়। এই কারণে rock-fill বাঁধ নির্মাণের জন্য উপযুক্ত শিলা নির্বাচনে উহাদের সরন্ধ্রতার পরিমাণ ও সংপৃক্ত অবস্থায় ভার সহনের ক্ষমতা বিশেষভাবে পরীক্ষা করা হয়। উপরে বর্ণিত বিভিন্ন প্রকারের অনুসন্ধান পদ্ধতির দ্বারা যে সকল তথ্য সংগৃহীত হয় উহা সাধারণতঃ unconfined অবস্থার হিসাব দেয়। কিন্তু কার্য্যক্ষেত্রে যখন শিলাসমূহ গাঁথনিতে ব্যবহৃত হয়, তখন প্রতিটি শিলাখণ্ড তাহার পার্শ্বস্থ শিলাসমূহের দ্বারা অবরুদ্ধ (confined) হইয়া পড়ে এবং ফলে একে অপরের উপর পার্শ্বচাপ বৃদ্ধি করে। এই পার্শ্বচাপ যে কোন গঠনের গভীর তলদেশে অনেক বেশী হয় এবং ইহার দ্বারা ঐ স্থানে শিলাবিশেষের সংকোচন প্রতিরোধ শক্তি বৃদ্ধি পায়। যে কোন বৃহদাকারের ইমারত বা কারিগরী গৃহনির্মাণের জন্য শিলাখণ্ড ব্যবহারের প্রয়োজন থাকিলে নিরাপত্তা রক্ষার্থে উহাদের design এমনভাবে করা হয় যাহাতে পরীক্ষাগারে সংগৃহীত ঐ সকল শিলার ভারবহন ক্ষমতা ও যন্ত্রীশক্তির সর্বাধিক মাত্রাপেক্ষা বেশ কিছু নিম্ন অঙ্কের মাত্রার প্রভাবের মধ্যে উহারা (শিলাসমূহ) নিয়োজিত হয়। এই নিরাপত্তার মান (Safety factor) এত উর্ধ্বমাত্রায় স্থির করা হয় যে পরীক্ষাগারে সংগৃহীত ফলাফলের আট হইতে দশ শতাংশের বেশী ভার বহন করিতে দেওয়া হয় না।

শিলাখণ্ডের স্থিতিস্থাপকতার মান সাধারণতঃ উহাদের সকলদিকেই সমান বিবেচিত হয়। অবশ্য এই ধারণা শিলাখণ্ডের সমসারক (Isotropic) চরিত্রের উপর নির্ভর করে। কিন্তু বাস্তবক্ষেত্রে স্থিতিস্থাপকতার মান শিলাখণ্ডের বিভিন্ন দিকে ভিন্ন অঙ্কের হয়। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে শিলাখণ্ডের সংস্তরায়ণতলের উপর লম্বদিকে ভার চাপাইলে উহার সর্বাধিক অপবর্তন (Deflection) ঘটে। শিলাখণ্ডের উপাদানসমূহের বিভিন্ন ধরণের অন্তর্গ্রথিত অবস্থার জন্য উহার বিভিন্ন দিকে ভিন্ন মানের স্থিতিস্থাপকতা পরিলক্ষিত হয়। এমন কি গ্র্যানিট প্রস্তরের উপাদানগুলির অন্তর্গ্রথিত অবস্থা যদি নিম্নমানের হয়, সেক্ষেত্রে উহার স্থিতিস্থাপকতা নিম্নমানের হয় এবং ভারবহন শক্তিও অপেক্ষাকৃত কম হয়। অর্থাৎ শিলাখণ্ডের সংকোচন প্রতিরোধ শক্তি যদি বেশী হয় উহার স্থিতিস্থাপকতাও উঁচু মানের হয়, তবে এই নিয়মের ব্যতিক্রমও পরিলক্ষিত হয়। দেখা গিয়াছে যে কয়েক প্রকারের শিলার জলমগ্ন অবস্থায় স্থিতিস্থাপকতার মান

অম্ল বৃদ্ধি পায়, আবার অন্য কয়েক প্রকারের শিলার ক্ষেত্রে বিপরীত ফল দেখা যায়। সুতরাং যে সকল কারিগরী গঠনের ভিত্তিস্থান জলপীঠের গভীর মধ্যে নিবদ্ধ থাকিবে উহাদের ভিত্তিস্থানের শিলাসমূহের এই বিশেষ চরিত্র পরীক্ষাগারে নির্ধারণ করিয়া তবেই উহাদের গাঠনিক কাজের জন্য নির্বাচন করা বাঞ্ছনীয়। এই বিষয়ে াঁধ নির্মাণের কালেও সতর্কতা অবলম্বন করা প্রয়োজন।

নির্মাণকার্য্যে ব্যবহৃত শিলাসমূহের ভারবহনের ক্ষমতা থাকিলে উহাদের দৃঢ়ীভবনের (Consolidation) কোন লক্ষণ সাধারণতঃ দেখা যায় না। কিন্তু এই প্রবণতা মৃত্তিকার ক্ষেত্রে খুব প্রবল। হিমীভূত বায়ুমণ্ডলে শিলাসমূহের রন্ধ্রমধ্যস্থ জলকণার হিমীভবনের প্রবণতা দেখা যায়। ইহার ফলে রন্ধ্রসমূহের মধ্যে প্রসার্য চাপ বৃদ্ধি পায় এবং পরিশেষে শিলাখণ্ডে ফাট ধরে। তবে পূর্বেই বলা হইয়াছে যে এমন কি জলমগ্ন অবস্থাতেও শিলাসমূহের রন্ধ্রসমূহ সম্পূর্ণভাবে জলে ভরিয়া যায় না। সুতরাং হিমীভবনের জন্য জলকণার বিস্তারের যথেষ্ট সুযোগ থাকে এবং এই কারণে কোনরূপ উল্লেখযোগ্য ক্ষতিসাধন হয় না। কিন্তু শিলাসমহ যদি স্বচিত (Laminated) হয়, সেক্ষেত্রে হিমীভূত বায়ুমণ্ডলে উহাদের নির্মাণ-কার্য্যে ব্যবহার না করাই ভাল কারণ হিমীভবনের জন্য বিভিন্ন স্বচ (Lamina) খসিয়া পড়ে। বিশেষতঃ এইরূপ শিলার স্বচগুলি লম্বভাবে রাখিয়া কখনই নির্মাণকার্য্য করা উচিৎ নহে। দেখা গিয়াছে যে হিমশীতল দেশে শেল (Shale) পাথরের স্তর (Layer) বিশিষ্ট চূণাপাথর (Limestone) নির্মাণকার্য্যে ব্যবহার করা বাঞ্ছনীয় নহে কারণ ইহাদের স্তরগুলির খসিয়া যাওয়ার প্রবণতা খুব প্রকট হইয়া পড়ে।

কারিগরী ইমারত ইত্যাদির নির্মাণে ব্যবহার্য শিলাসমূহ কিরূপ পরিবেশে রাসায়নিক প্রতিক্রিয়া (Chemical reaction) দ্বারা কতটা প্রভাবান্বিত হইবে সেইবিষয়ে বিশেষ পরীক্ষা করা প্রয়োজন। দেখা গেছে যে বড় বড় সহরে এবং শিল্প নগরীতে বায়ুমণ্ডলে নানারূপ ক্ষতিকর গ্যাস যথা Carbon dioxide (CO_2), Sulphur dioxide (SO_2), Sulphur trioxide (SO_3) ইত্যাদি বিদ্যমান থাকে। Sulphur trioxide-এর সহিত বায়ুমণ্ডলীয় জলীয় বাষ্পের মিলনে Sulphuric acid-এর সৃষ্টি হয় এবং ইমারত ইত্যাদিতে ব্যবহৃত চূণপাথর জাতীয় শিলার সহিত এই acid-এর রাসায়নিক প্রতিক্রিয়ার দ্বারা Sulphate-এর সৃষ্টি হয়। ফলে ঐ সকল শিলাসমূহের গাত্র হইতে চোক্‌লা (Scales) খসিয়া পড়ে এবং পরিশেষে

উহাদের ধ্বংসপ্রাপ্তি হয়। বাঁধের জলাধারে সঞ্চিত জলেও শেওলা বা আগাছা ইত্যাদি পচিয়া humic acid-এর সৃষ্টি করে এবং উহা কালক্রমে বাঁধের গাঁথনির উপর রাসায়নিক প্রতিক্রিয়া দ্বারা ইহার ক্ষয়সাধন করে। এমন কি যে সকল earth dam-এর অথবা সেতুর মাটির abutment-গুলি rip rap দ্বারা আচ্ছাদিত থাকে সেক্ষেত্রেও ঐরূপ acidic জলের সংস্পর্শে ঐ সকল rip rap চূণাপাথর জাতীয় হইলে উহাদের কালক্রমে ধ্বংসপ্রাপ্তি ঘটে। সুতরাং এই প্রকারের নির্মাণকার্য্যে চূণাপাথর অথবা মার্বেল-জাতীয় শিলার ব্যবহার নিষিদ্ধ বলিয়া গণ্য হয়। দেখা যায় যে অনেকক্ষেত্রে বালুশিলার বিভিন্ন উপাদানের সংশ্লেষণ মাধ্যম উপরোক্ত রাসায়নিক প্রতিক্রিয়ার দ্বারা বিনষ্ট হয় এবং উহাদের নির্মাণকার্য্যের অনুপযুক্ত করিয়া দেয়। বড় বড় ইমারতের দেওয়ালে, বিশেষতঃ বনিয়াদের কিছু উপরদিকে প্রায়ই সাদা রঙের ছাপ দেখা যায়। এই স্থানগুলিতে sulphate বা chloride জাতীয় লবণাক্ত বস্তুর জমায়েৎ হয় এবং ইহাদের উদত্যাগ (Efflorescence) বলে। ইহাদের সৃষ্টি গাঁথনির উপাদানের সহিত বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত অথবা ভূজলে মিশ্রিত acid-এর রাসায়নিক প্রতিক্রিয়া দ্বারা সাধিত হয়। এই জাতীয় লবণাক্ত বস্তু কালক্রমে গাঁথনির প্রভূত ক্ষতিসাধন করে। ইষ্টক নির্মিত গাঁথনিসমূহে এইরূপ উদত্যাগ খুব বেশী পরিলক্ষিত হয়। কারণ যে সকল পলিমাটী হইতে ইষ্টক তৈয়ারী করা হয় সেগুলিতে অনেকক্ষেত্রে দূষিত sulphate এবং chloride জাতীয় লবণাক্ত বস্তু থাকে।

রাসায়নিক প্রতিক্রিয়া ছাড়াও যে সকল স্থানে দৈনন্দিন তাপমাত্রা পর্য্যায়ক্রমে অতিশয় বৃদ্ধি পায় ও কমে, সে সকল ক্ষেত্রে শিলাসমূহের আয়তনের তাপজনিত প্রসার ও সংকোচন ঘটে। ইহার ফলেও শিলা-সমূহের গাত্র হইতে চোক্‌লা খসিয়া পড়িতে দেখা যায়। যে সকল rip rap পাথর কখনও হিমশীতল জলে সিক্ত থাকে এবং অব্যবহিত পরেই শুষ্ক গরম হাওয়ার সম্মুখীন হয়, এইরূপ প্রাকৃতিক অবস্থার দ্রুত পরিবর্তনের ফলে উহাদের ক্রমশঃ চূর্ণীভূত হইতে দেখা যায়। গ্র্যানিট ও মোটাদানাবিশিষ্ট আগ্নেয়শিলাগুলিতে এইরূপ তাপজনিত প্রসারণ ও সংকোচন খুব বেশী ঘটিতে দেখা যায়। সে কারণ এই জাতীয় শিলা-সমূহ rip rap হিসাবে ব্যবহারের উপযুক্ত হয় না। কয়েক প্রকারের শিলা সাধারণ জলেতে ভিজিয়া থাকিলে উহাদের ভারবহন শক্তি কমিয়া যায়, বিশেষতঃ যদি আগুনের সংস্পর্শে খুব উত্তপ্ত হইবার পর হঠাৎ

শীতল জলের সংস্পর্শে আসে। বালুশিলা ও চূণাপাথর জাতীয় শিলা এই পর্য্যায়ভুক্ত হয়, সুতরাং এই জল সংমিশ্রণ বিশেষত্ব (Slaking property) পরীক্ষা করিবার পর ঐ সকল শিলা নির্মাণকার্য্যে ব্যবহার করা উচিৎ।

কারিগরী নির্মাণকার্য্যে কংক্রীট প্রস্তুতিতে Aggregate-এর ভূমিকা

বর্তমানে বৃহদাকার কারিগরী নির্মাণকার্য্যে নানাপ্রকারের শিলাখণ্ড একাকৃত করিয়া সিমেণ্টের সাহায্যে উহাদের সমাহত করিয়া গাঁথনি করা হয়। এই প্রথাকে concreting আখ্যা দেওয়া হয় এবং শিলাখণ্ডের সমাবেশকে aggregate বলা হয়। এখন এই প্রস্তর জাতীয় (Rock) aggregate সম্বন্ধে আলোচনা করা হইতেছে। শিলাংশ যদি বেশ বড় আকারের হয় সেক্ষেত্রে উহাদের coarse aggregate বলিয়া আখ্যায়িত করা হয় এবং অপেক্ষাকৃত খুব ছোট আকারের হইলে (এমনকি বালুকা) fine aggregate বলিয়া বিবেচিত হয়। শিলাখণ্ড স্বভাবজাত উধোপল (Gravel) অথবা কবোপল (Pebble) এর আকারের হইলে aggregate হিসাবে ব্যবহারের জন্য বিশেষ গ্রহণযোগ্য হয়। অন্যথায় বৃহদাকার শিলাখণ্ডকে চূর্ণীত করিয়া ছোট আকারে পরিণত করা হয়। পূর্বেই বলা হইয়াছে যে শিলাখণ্ডকে mineral aggregate আখ্যায়িত করা যায়। সুতরাং এই সকল খনিজ (Mineral) বস্তুর প্রাকৃতিক গুণাবলী, যথা সম্ভেদের উপর, শিলাখণ্ডের আকৃতি নির্ভরশীল। যদি শিলাখণ্ডসমূহে ভেদস্তর (Partings) না থাকে সেক্ষেত্রে উহারা স্বাভাবিক অবস্থায় সর্বদিকে একই মাত্রায় বিশরিত (Disintegrated) হয়। ফলে উহারা সমকোণবিশিষ্ট অথবা গোলাকারের হয়। বাস্তবক্ষেত্রে দেখা যায় যে সূক্ষ্মদানাবিশিষ্ট গ্র্যানিট, কোয়ার্টজাইট, ইত্যাদি শিলাসমূহ গোলাকার aggregate সৃষ্টি করে। তবে স্তরায়িত শিলাসমূহ বিশরিত হইলে দ্রাঘিত (Elongated) aggregate-এর সৃষ্টি করে। শেল, শ্লেট এবং ঐ জাতীয় স্তরায়িত শিলা হইতে পট্টযুক্ত aggregate উৎপন্ন হয়। কিন্তু ব্যাসল্ট পাথর বিশরিত অবস্থায় তীক্ষ্ণ কোন বিশিষ্ট টুক্‌রায় পরিণত হয় এবং ইহার এই বিশেষত্ব কংক্রীট প্রস্তুতির ব্যাপারে খুব সহায়ক হয় যদিও সিমেণ্ট খরচের মাত্রা বৃদ্ধি পায়। সাধারণতঃ ভিন্ন ভিন্ন প্রকারের নির্মাণকার্য্যের জন্য প্রয়োজনবোধে aggregate-এর আকার ছোট বড় হয় এবং এই আকারের প্রভেদানুযায়ী aggregate-দের

শ্রেণীভাগ করা হয়। উঁচু পাহাড়ের পাদদেশে বিস্তৃত নদীবক্ষে নানাবিধ আকারের এবং বিভিন্ন চরিত্রের প্রস্তরের সমাবেশ হয়। বালুকাময় নদীবক্ষের এই স্থানগুলি চড়ার (Shoal) আকার ধারণ করে এবং স্বাভাবিক অবস্থায় চড়ায় জমায়েৎ এই প্রস্তরসমূহ বিভিন্ন আকারের অর্থাৎ বড় বড় boulders হইতে ছোট উধোপলের মাপের হইলেও একত্রে মিশ্রিত অবস্থায় থাকে। দেখা যায় যে ইহাদের প্রাকৃতিক অবক্রান্তের (Grading) মান খুবই নিম্নস্তরের। সুতরাং এইরূপ উৎস হইতে সংগৃহীত aggregate সমূহকে বিভিন্ন আকারের মাপানুযায়ী শ্রেণীবদ্ধ করা হয় এবং ইহাতে প্রয়োজনানুযায়ী কোন এক আয়তনের প্রস্তরের অভাব বোধ করিলে অপর কোন উৎস হইতে সংগৃহীত অভীষ্ট মাপের প্রস্তরের মিশ্রণে উপযুক্ত মানের aggregate প্রস্তুত করা হয়।

যদিও নির্মাণকার্য্যে কংক্রীট প্রস্তুতের সময়ে অনুমান করা হয় যে aggregate সমূহ প্রতিক্রিয়াবিহীন অর্থাৎ সিমেণ্ট বা অন্য কোন বন্ধনী মাধ্যমের সহিত মিশ্রণে অবস্থার কোন পরিবর্তন হইবে না, কিন্তু ঐ অনুমান যথার্থপক্ষে ঠিক নহে। উহারা সিমেণ্ট জাতীয় বস্তুর সহিত সংমিশ্রণে অল্প বিস্তর ভৌত (Physical) ও রাসায়নিক (Chemical) প্রতিক্রিয়ার সম্মুখীন হয় এবং এই প্রতিক্রিয়ার মাত্রা প্রস্তরসমূহের এবং সিমেণ্ট ইত্যাদির রাসায়নিক সংঘটনের (Chemical composition) উপর নির্ভর করে। ফলে প্রস্তুতকরা কংক্রীটের গুণাবলীর তারতম্য হয়। সিমেণ্টের সহিত মিশ্রিত aggregate সমূহ যখন জমিতে থাকে, সেই সময়ে সিমেণ্টের সংঘটন হইতে sodium এবং potassium oxides জাতীয় ক্ষার (Alkalies) অবমুক্ত (Released) হইয়া aggregate সমূহের মধ্যে সিলিকাজাতীয় খনিজ বস্তুর (Silicate minerals) সহিত রাসায়নিক প্রতিক্রিয়া আরম্ভ করে এবং ইহার দ্বারা ক্ষতিসাধন হয়। ব্যবহৃত সিমেণ্টে যদি ক্ষারের পরিমাণ খুব বেশী থাকে সেক্ষেত্রে নিম্নলিখিত প্রস্তরগুলি যথা চূণাপাথর, opaline chert, rhyolite, andesite, phyllite ইত্যাদির সহিত প্রতিক্রিয়া অধিকমাত্রায় ক্ষতিকর হয়। এই প্রতিক্রিয়া জনিত বিপত্তি কয়েক প্রকারের হয় যথা কংক্রীট নির্মিত গাঁথনির আয়তন বৃদ্ধি পায়, উহাতে ফাট ধরে এবং উহার শক্তি হ্রাস পায়। কংক্রীটের এই অবনতি aggregate-এর খনিজ বস্তুর সহিত সিমেণ্টের ক্ষার অংশের প্রতিক্রিয়া কার্য্যকরী হওয়ার সময়ে ঘটে। Aggregate প্রস্তরসমূহ যখন

সিমেণ্ট ও জলের সহিত মিশ্রিত হয়, ঐ সময় হইতেই এবং পরবর্তী কয়েক ঘণ্টায় সিমেণ্টের ক্ষারজাতীয় অংশ জলেতে সহজেই দ্রবীভূত হওয়ার চরিত্রানুযায়ী সিমেণ্টের সংঘটন (Composition) হইতে বিযুক্ত হইয়া পড়ে এবং ঐ কংক্রীট মিশ্রণের জলীয় ভাগকে ক্রমশঃ ক্ষারেতে গাঢ়ীভূত (Concentrated) করে। ফলে এই বিদাহী (Caustic) তরলবস্তু aggregate মধ্যস্থ যে সকল খনিজবস্তু খুব বেশী প্রতিক্রিয়াশীল তাহাদের আক্রমণ করে এবং এই রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় silica gels সৃষ্টি হয়। এই silica gel সৃষ্টি হইবার সাথে সাথে মিশ্রণের জলীয় ভাগ শোষিত হইয়া পড়ে। ফলে অভিসারণিক (Osmotic) চাপ সৃষ্টি হয় এবং কংক্রীট মিশ্রণের যে অংশে এই প্রতিক্রিয়া কার্য্যকরী হয় তাহার আশপাশ ফুলিয়া উঠে ও পরিশেষে ফাট ধরে। রাসায়নিক প্রতিক্রিয়া যতই বৃদ্ধি পায়, ফাটগুলিও ততই বর্দ্ধিত হয় এবং উহারা ঐ silica gel দ্বারা পূর্ণ হয়। কার্যক্ষেত্রে দেখা গিয়াছে যে কংক্রীট প্রস্তুতের প্রারম্ভেই aggregate সমূহের এবং সিমেণ্টের শিলাবীক্ষণিক (Petrographic) বিশ্লেষণ দ্বারা উহাদের মধ্যে কিরূপ প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি হইবে তাহার পূর্বাভাস পাওয়া যায়। শিলাবীক্ষণিক বিশ্লেষণ ছাড়াও রাসায়নিক পরীক্ষার দ্বারা aggregate সমূহ সিমেণ্টের সহিত কি মাত্রায় প্রতিক্রিয়া সাধন করিবে তাহা জানা সম্ভব। এই প্রথানুযায়ী চূর্ণীভূত aggregate-কে sodium hydroxide-এর দ্রবণে দ্রবীভূত করিয়া দেখা হয় যে ঐ দ্রবণে ক্ষারের মাত্রা কতটা হ্রাস পায়। নিম্নমানের ক্ষারবিশিষ্ট সিমেণ্ট (Low-alkali cement) ব্যবহার করিয়া aggregate-দের সহিত উহার প্রতিক্রিয়ার মাত্রা আয়ত্বাধীনে আনা সম্ভব হয়। সাধারণতঃ sodium এবং potassium oxides-এর সম্মিলিত উপস্থিতি 0·5 শতাংশের অনূর্দ্ধে সীমাবদ্ধ থাকা প্রয়োজন। অনেকক্ষেত্রে দেখা যায় যে aggregate সমূহের মধ্যে iron sulphide জাতীয় খনিজবস্তু নিহিত থাকে যথা পাইরাইট (Pyrite) এবং এইগুলি সিমেণ্টের সহিত মিশিলে প্রতিক্রিয়া দেখা দেয়। কংক্রীটের যেস্থানে এই জাতীয় খনিজবস্তু থাকে উহাদের কেন্দ্র করিয়া প্রতিক্রিয়া আরম্ভ হয় এবং জলীয় ও উত্তপ্ত আবহাওয়ায় এই প্রতিক্রিয়ার মাত্রা বৃদ্ধি পায়। ঐ কেন্দ্রীভূত স্থানগুলি ফোসকার (Blister) আকারে ফুলিয়া উঠে এবং উহাদের আশে পাশে মরিচা (Rust) ধরার রঙ দেখা দেয়। Iron sulphide জাতীয় অজৈব বস্তুর পরিবর্তে যদি কোন জৈব গন্ধক জাতীয় বস্তু aggregate-এ নিহিত থাকে, সেক্ষেত্রে

রাসায়নিক প্রতিক্রিয়া ব্যাপক এবং অধিকমাত্রায় হয়। ইহার দ্বারা কংক্রীটের শক্তি এবং স্থায়িত্ব হ্রাস পায়।

কংক্রীটের শক্তি aggregate-এর বাহ্যিক গ্রথনের (Texture) উপরও অনেকটা নির্ভর করে। উধোপল বা গোলাকৃতি প্রস্তরখণ্ডের বহির্ভাগের অবস্থার সহিত উহাদের ভিতরের অবস্থার বিশেষ প্রভেদ দেখা যায়। ভিতরস্থ খনিজবস্তু সমূহ পরিবর্তিত ও কালক্রমে ক্ষরিত (Leached out) হওয়ায় প্রস্তরখণ্ডসমূহের বহির্ভাগ অপেক্ষাকৃত নরম ও অচ্ছিদ্র হইয়া পড়ে এবং এই কারণে খুব বেশী মসৃণ এবং গোলাকৃতির aggregate কংক্রীট প্রস্তুতের জন্য উপযুক্ত বিবেচিত হয় না। কারণ প্রস্তরখণ্ডের বহির্ভাগ খুব মসৃণ হইলে স্বভাবতঃ উহাদের রন্ধ্রসমূহ বন্ধ হইয়া যায় এবং ফলে সিমেণ্টের সহিত মিশ্রণে ইহাদের বাঁধন খুব শক্তিশালী হয় না। কিন্তু aggregate পাথরের সরন্ধ্রতার মাত্রা যত কম হয় উহার ঘনত্ব সেই হারে বৃদ্ধি পায় এবং ফলে এই প্রকারের aggregate-এর ঘর্ষণের প্রতিরোধ শক্তি বেশী হয়। সেই কারণে কোয়ার্টজাইট বা ব্যাসল্ট জাতীয় প্রস্তর রাজপথ নির্মাণের জন্য প্রয়োজনীয় কংক্রীট প্রস্তুতের কাজে খুব বেশী ব্যবহৃত হয়। কংক্রীট মিশ্রণের ভৌত গুণাবলীর মধ্যে উহার দৃঢ়তা বিশেষভাবে বাঞ্ছনীয় এবং আয়তনের সাম্যাবস্থা খুবই কাম্য। যে সকল ক্ষেত্রে কংক্রীটের গাঁথনি বায়ুমণ্ডলের আবহাওয়ায় উন্মুক্ত থাকে, ঐ অবস্থায় কংক্রীটের অংশবিশেষ দ্রবীভূত হওয়ার আশঙ্কা থাকে এবং ইহাতে গাঁথনির শক্তি হ্রাস পায়। আর বায়ুমণ্ডলের খুব বেশী উত্তপ্ত আবহাওয়ার সম্মুখীন হইলে কংক্রীটের আয়তন বৃদ্ধির প্রবণতা দেখা দেয় এবং উহাতে ইহার প্রসার্যশক্তি কমিয়া যায়। এই আয়তন বৃদ্ধি aggregate-এর তাপজনিত বিস্তারণশীল অথবা জলীয় পদার্থ অবশোষণ ধর্মের উপর নির্ভর করে। অনেকক্ষেত্রে দেখা গেছে যে অগ্নিকাণ্ডের ফলে aggregate-এর খনিজবস্তু সমূহের রাসায়নিক সংঘটনের পরিবর্তন ঘটে। এমন কি নূতন খনিজ বস্তুর সৃষ্টি হয় এবং কংক্রীটের ভৌত ও রাসায়নিক অবস্থার অপকৃষ্ট সাধন করে। তবে aggregate প্রধানতঃ চর্ণকময় (calcareous) খনিজ উপাদানের সমষ্টি হইলে অতিরিক্ত তাপমাত্রায় ইহাদের ক্ষতিসাধনের মাত্রা খুব অল্প হয়।

এইবার কংক্রীট প্রস্তুতের জন্য fine aggregate যথা বালু, ছোট আকারের উধোপল ইত্যাদির সম্বন্ধে কিছু আলোচনা করা হইতেছে। বালু এবং উধোপল সিমেণ্টের সহিত মিশ্রিত করিয়া যে কংক্রীট প্রস্তুত

করা হয় তাহা সাধারণতঃ বড় বড় রাজপথ, জলনিকাশী নালী ইত্যাদির নির্মাণে খুব বেশী ব্যবহৃত হয়। রেলপথে ballast হিসাবে উধোপলের ব্যবহার সর্বদেশে হইয়া থাকে। নদীবক্ষের বালুকণাসমূহ সাধারণতঃ fine aggregate হিসাবে ব্যবহার হয়। যে স্থানে এই জাতীয় বালুকার অভাব, সেক্ষেত্রে প্রস্তরচূর্ণ করিয়া ব্যবহার করা হয়। নদীবক্ষে প্রস্তর-খণ্ড সমূহ প্রাকৃতিক উপায়ে বহুদূর হইতে বাহিত হইয়া আসে এবং এই যাত্রায় ক্রমাগত পরস্পরের মধ্যে ঠোকাঠুকি এবং ঘর্ষণের ফলে আকারে ক্ষুদ্র হইতে ক্ষুদ্রতম অবস্থায় ও পরিশেষে বালুকণা হিসাবে পরিণত হয়। চলিত কথায় বালু বলিতে কোন একটি বিশেষ খনিজ বস্তু বুঝাইলেও আসলে ইহা কয়েক প্রকার প্রস্তরের অতি ক্ষুদ্র অংশ বিশেষ এবং fine aggregate হিসাবে এই বালু ব্যবহারযোগ্য হইবার জন্য ইহার কাঠিন্য ও অক্ষয়ভাব বিশেষ কাম্য। নদীবক্ষে বালু, উধোপল ইত্যাদি যে স্থানে কেন্দ্রীভূত হইতে থাকে, কালক্রমে উহা অবক্ষেপের (Deposit) পর্য্যায়ে পরিগণিত হয়। কিন্তু এই অবক্ষেপের তলার অংশ জলমগ্ন থাকে এবং উপরিভাগ বায়ুমণ্ডলে উন্মুক্ত থাকে। ফলে জলমগ্ন অংশের aggregate সমূহ খনিজবস্তুর আস্তরণে ঢাকিয়া যায় এবং বায়ুমণ্ডলে উন্মুক্ত অংশে বিশরণ ঘটে। খনিজবস্তুর আস্তরণ নানাপ্রকারের হয় তবে clay জাতীয় মৃত্তিকা, ক্যালসিয়ম কার্বনেট ইত্যাদি খুব অধিক পরিমাণে জমিতে থাকে। খনিজ অক্সাইড ও সিলিকেট এবং gypsum জাতীয় খনিজবস্তুও অনেকক্ষেত্রে অল্প বিস্তর আস্তরণ হিসাবে জমিয়া যায় এবং এই প্রকারের আস্তরণযুক্ত fine aggregate কংক্রীট প্রস্তুতে ব্যবহৃত হইলে ক্ষতিকর হয়। রেলপথে ballast হিসাবে ব্যবহারের জন্য উধোপল নিয়মমাফিক আকারের হইলে উহার প্রস্তুতির প্রয়োজন হয় না, নচেৎ চূর্ণীকরণের আবশ্যক হয়। সাধারণতঃ বড় বড় শিলাখণ্ড ভাঙ্গিয়া ballast প্রস্তুত করা হয় এবং ইহার মুখ্য গুণাবলীর মধ্যে সর্বপ্রধান হইল দৃঢ়তা। অতিশয় ভারী এবং দ্রুতগামী যাত্রী অথবা মালবাহী ট্রেনের গমনের সময়ে রেলপথের ballast-গুলি হঠাৎ ভীষণভাবে আলোড়িত হইয়া উঠে এবং রেলপথ হইতে অনেক সময়ে ছিটকাইয়া পড়ে। এই আলোড়নের সময়ে পরস্পরের মধ্যে ঘর্ষণ জনিত ক্ষয়সাধন হয় এবং চূর্ণীভবনের প্রবণতাও বৃদ্ধি পায়। সুতরাং রেলপথে ballast হিসাবে ব্যবহারের জন্য নির্বাচিত প্রস্তরসমূহ কেবলমাত্র কঠিন হইলেই চলিবে না, ঘর্ষণজনিত ক্ষয়ের প্রতিহত শক্তি থাকাও বিশেষ বাঞ্ছনীয়।

রাজপথ এবং বিমান অবতরণক্ষেত্র নির্মাণে ব্যবহৃত aggregate সমূহ তাহাদের ব্যবহারের উদ্দেশ্যানুযায়ী তিনটি শ্রেণীতে বিভক্ত হয়। Ballast-এর আকারে aggregate-এর ব্যবহারের মুখ্য উদ্দেশ্য ভারবহন এবং ইহা প্রথম শ্রেণী পর্য্যায়ভুক্ত। ইহা সর্বাধিক পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। কিন্তু ballast গুলির আকার ভিন্ন ধরণের হওয়ায় এবং বিশেষতঃ শিলা-খণ্ডের চূর্ণীকরণ দ্বারা উহা সংগৃহীত হইলে উহারা তীক্ষ্ণ কোনবিশিষ্ট হয়। এই কারণে পথ নির্মাণের জন্য ballast সজ্জিত করিলে পরস্পরের মধ্যে শূন্যস্থান বিরাজ করে ও ঐ শূন্যস্থান পূরণের জন্য সূক্ষ্ম প্রস্তরচূর্ণ ব্যবহার করা হয়। এই জাতীয় aggregate দ্বিতায় শ্রেণীভুক্ত এবং ইহা নানাপ্রকার প্রস্তরের যথা চূণাপাথর, শ্লেট, soapstone, gypsum প্রভৃতির চূর্ণাবশেষের সমষ্টি হয়। ইহাদের বন্ধনীশক্তি না থাকিলেও আপত্তিজনক হয় না। কিন্তু ballast এবং উহাদের মধ্যে শূন্যস্থান পূরণকারী এই দুই প্রকার aggregate-কে বন্ধনপাশে আবদ্ধ করিয়া একত্ব অবস্থা স্থষ্টির জন্য বন্ধনীশক্তি বিশিষ্ট clay এবং চণাপাথর চূর্ণ ইত্যাদি তৃতীয় শ্রেণী পর্য্যায়ের aggregate হিসাবে ব্যবহৃত হয়। এই শ্রেণীর aggregate জলমিশ্রিত অবস্থায় দলিত ও নিষ্পিষ্ট হইলে বন্ধনীর ভূমিকা গ্রহণ করে। বর্তমানে asphalt জাতীয় রাসায়নিক উপাদান এই বন্ধনী হিসাবে ব্যবহৃত হয় এবং ইহার কার্য্যকরী শক্তিও অনেক বেশী। প্রাকৃতিক ballast-এর পরিবর্তে অনেকস্থলে ধাতুমল (Slag) সহজপ্রাপ্য হইলে নিকটস্থ রাজপথ ও রেলপথ নির্মাণে ব্যবহৃত হয় তবে উহার ভারবহনশক্তি অপেক্ষাকৃত কম।

কারিগরী নির্মাণকার্য্যে Pozzolan-এর ব্যবহার

এইবার Pozzolan নামে অভিহিত এবং নির্মাণকার্য্যে ব্যবহৃত এক-জাতীয় উপাদান সম্বন্ধে কিছু আলোচনা করা হইতেছে। ইহা সাধারণতঃ সিলিকাপূর্ণ (SiO_2) অথবা এ্যালুমিনাপূর্ণ (Al_2O_3) দ্রব্য এবং প্রাকৃতিক ও কৃত্রিম এই দুই উপায়েই উৎপন্ন হয়। আগ্নেয়গিরিজাত ভস্ম (Volcanic ash) ও উহার দৃঢ়সংবদ্ধ অংশ (Tuff), ডায়াটমযুক্ত মৃত্তিকা (Diatomaceous earth) ইত্যাদি প্রাকৃতিক pozzolan হিসাবে গণ্য হয়। এইখানে বলা যাইতে পারে যে ইতালী দেশের Pozzuoli নগরের সন্নিকটস্থ আগ্নেয়গিরিজাত ভস্ম সর্বপ্রথম চূণ বা সিমেণ্টের সহিত মিশ্রিত করিয়া কংক্রীট প্রস্তুতের কার্য্যে ব্যবহৃত হয় এবং সেই হইতে এই জাতীয় উপাদানের ঐরূপ নামকরণ হইয়াছে। অধিক মাত্রায়

এ্যালুমিনাপূর্ণ clay বা শেল জাতীয় প্রস্তরকে অতিশয় উচ্চ তাপে দগ্ধ করিলে উহারা প্রাকৃতিক pozzolan-এর গুণাবলী প্রাপ্ত হয়। শিল্প কারখানার চিমনীর নিষ্ক্রান্ত ধূম হইতে আহরিত ভস্মাবশেষ (Fly ash) কৃত্রিম pozzolan হিসাবে ব্যবহৃত হয়। যদিও এই সকল pozzolan উপাদানগুলির নিজস্ব কোন বন্ধনী শক্তি নাই কিন্তু সিমেণ্টের বা চূণের সহিত মিশ্রিত করিলে উহারা স্থায়ী বন্ধনীশক্তি সম্পন্ন যৌগিক উপাদানে পরিণত হয় এবং কংক্রীট প্রস্তুতের কাজে pozzolan ব্যবহারের দ্বারা সিমেণ্টের পরিমাণ অনেকাংশে কম করা সম্ভব হয়। পূর্বেই বলা হইয়াছে যে কংক্রীটের প্রস্তুতিকালে সিমেণ্টের সংঘটনে উপস্থিত sodium ও potassium oxides জাতীয় ক্ষার বস্তুর সহিত aggregate-এর রাসায়নিক প্রতিক্রিয়া পরিলক্ষিত হয়। কিন্তু দেখা গিয়াছে যে pozzolan মিশ্রণের ফলে এইরূপ প্রতিক্রিয়ার মাত্রা বহুলাংশে হ্রাস অথবা সম্পূর্ণ নিরোধ করা সম্ভব হয়। ইহার ব্যবহারে কংক্রীটের বিরাট গাঁথনিসমূহের জমিবার সময়ে যে উত্তাপের সৃষ্টি হয় উহারও মাত্রা অধিক পরিমাণে হ্রাস পায় এবং কংক্রীটের প্রসার্য শক্তি বৃদ্ধি পায়। সর্বোপরি pozzolan মিশ্রণের দ্বারা কংক্রীট প্রস্তুতের ব্যয় হ্রাস পায় কারণ সিমেণ্টের বেশ কিছু অংশের পরিবর্তে pozzolan ব্যবহার করা সম্ভব হয় এবং ইহার সংগ্রহণ মূল্য সিমেণ্টের অপেক্ষা অনেক কম। Pozzolan ব্যবহারে কতকগুলি অহিতকর অবস্থার সৃষ্টি হয়, যথা কংক্রীট প্রস্তুতের জন্য জলের ভাগ খুব বৃদ্ধি করিতে হয় এবং মিশ্রণ শুষ্ক হওয়া কালে অতিরিক্ত সংকোচন ঘটে। সুতরাং pozzolan জাতীয় উপাদান ব্যবহারের পূর্বে পরীক্ষাগারে উহার বিশ্লেষণ ও ক্ষেত্রবিশেষে গুণাগুণ লক্ষ্য করিয়া দেখা উচিৎ এবং ইহার ব্যবহারে ব্যয়ের অঙ্কের সুবিধা কিরূপ হইবে তাহাও নির্ধারণ করা প্রয়োজন।

কংক্রীট প্রস্তুতিতে শিলাজাতীয় Aggregate-এর বিনির্দেশ

নির্মাণকার্য্যে ব্যবহারের জন্য শিলাজাতীয় aggregate সমূহের গুণাগুণ সম্বন্ধে ইতিপূর্বে আলোচনা করা হইয়াছে, বিশেষতঃ কংক্রীট প্রস্তুতিতে উহাদের ভূমিকাও বর্ণনা করা হইয়াছে। এরকম ব্যবহারের দ্বারা লব্ধ অভিজ্ঞতার উপর ভিত্তি করিয়া ব্যবহারযোগ্য শিলাজাতীয় aggregate-এর বিনির্দেশ (Specification) নির্ধারণ করা হইয়াছে। তবে এই সকল বিনির্দেশের কতকাংশের ব্যতিক্রমের প্রয়োজন হইলে

তাহা কারিগরী ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞের উপদেশানুযায়ী করা সম্ভব। ভারতীয় মানকসংস্থা (Indian Standards Institution) যে কোন শিলাখণ্ড aggregate হিসাবে ব্যবহারের উপযুক্ত বিবেচিত হওয়ার জন্য উহাদের সম্বন্ধে কতকগুলি বিনির্দেশ স্থির করিয়াছেন, যথা শিলাখণ্ডের ঘনত্ব এমন হওয়া উচিৎ যাহাতে উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব কমপক্ষে 2·6 হয়। শিলাখণ্ডে অনিষ্টকর বস্তু যথা নরম শেল, clay ইত্যাদি যেন উহার ওজনের শতকরা পাঁচ ভাগের বেশী না হয়। Sodium sulphate জাতীয় দ্রবণের সহিত ঐ aggregate-এর রাসায়নিক প্রতিক্রিয়া উপর্য্যুপরি পাঁচ বার সাধিত করাইয়াও উহার ওজন যেন শতকরা বার হইতে পনর ভাগের বেশী কমিয়া না যায়। Los Angles ঘর্ষণ পরীক্ষায় aggregate এক শত বার আবর্তনের ফলে উহার ওজন যেন শতকরা দশ ভাগ এবং পাঁচ শত বার আবর্তনে শতকরা চল্লিশ ভাগের বেশী কমিয়া না যায়। জল অবশোষণের উর্ধ্ব মাত্রা শতকরা পাঁচ ভাগের বেশী কখনই যেন না হয়, সাধারণতঃ উহা শতকরা এক ভাগের মধ্যে সীমিত থাকা বাঞ্ছনীয়। কংক্রীটের জন্য ব্যবহারকল্পে উপরোক্ত বিনির্দেশ পরিপূরণান্তে প্রস্তর aggregate-এর সংকোচন প্রতিরোধশক্তি সাধারণতঃ প্রতি বর্গসেণ্টিমিটারে 1760 কিলোগ্রাম বা ততোধিক হওয়া প্রয়োজন। তবে কার্য্যক্ষেত্রে অনেক সময়ে দেখা যায় এই সকল বিনির্দেশ পরিপূরণ করা সত্ত্বেও aggregate-এর সংকোচন প্রতিরোধ শক্তি আকাঙ্খিত মাত্রায় পৌঁছায় না, অথচ অপেক্ষাকৃত নিম্নমানের aggregate ব্যবহার করিয়া কংক্রীটের চাপ বহন শক্তি বাঞ্ছিত মাত্রায় পাওয়া গেছে।

কারিগরী নির্মাণ কার্য্যের জন্য শিলাখণ্ড ও কংক্রীটের Aggregate-এর উৎস

এখন বড় বড় শিলাখণ্ড (Masonry blocks), rip rap, কংক্রীটের aggregate, বালু, মৃত্তিকা ইত্যাদির উৎস সম্বন্ধে কিছু আলোচনা করা হইতেছে। শিলাখণ্ড সমূহ সাধারণতঃ গ্র্যানিট, কোয়ার্টজাইট, বালুশিলা, চুণাপাথর, মার্বেল, ব্যাসল্ট, ডলারাইট ও অনুরূপ ক্ষারকীয় (Basic) প্রস্তরের উদ্‌ভেদ (Outcrop) হইতে খনন করিয়া সংগ্রহ করা হয়। প্রয়োজনমত বিভিন্ন মাপের বড় বড় শিলাপট্ট (Rock slab) খাত হইতে খনন করিয়া গাঁথনির কাজে লাগান হয়। ইহাদের dimension stone আখ্যা দেওয়া হয়। কিন্তু কংক্রীটের গাঁথনির প্রচলন হওয়ায়

dimension stone-এর ব্যবহার প্রায় বন্ধ হইয়া গিয়াছে। তবে কংক্রীটের গাঁথনির উপরে, বিশেষতঃ প্রাসাদ ইত্যাদির দেওয়ালের সৌন্দর্য্য বৃদ্ধির জন্য ও বৃষ্টি এবং বায়ুমণ্ডলের ক্ষতিকর আবহাওয়া হইতে উহাদের রক্ষাকল্পে, পাতলা ধরণের dimension stone ব্যবহার করা হয়। এই প্রকার ব্যবহারের নিমিত্ত ইহাদের facing stone নামে অভিহিত করা হয়। কংক্রীট aggregate হিসাবে পাহাড়ী নদীর চড়ায় জমিয়া থাকা বড় বড় সাল (Boulder) এবং উধোপল (Gravel, shingle) জাতীয় প্রস্তরখণ্ড সকল বিশেষ সমাদর লাভ করে। পূর্বেই বলিয়াছি এইজাতীয় গোলাকৃতিবিশিষ্ট প্রস্তর ব্যবহারে সিমেণ্টের খরচ অনেক কম হয় এবং বাঁধন খুব মজবুত হয়।

কারিগরী গৃহ, বড় বড় ইমারত, বাঁধ, সেতু এবং অন্যান্য বিশেষত্ব-পূর্ণ গাঁথনির কাজের জন্য বড় শিলাপট্ট, rip rap, চূর্ণীকৃত প্রস্তর, aggregate, বালু, মৃত্তিকা ইত্যাদির সংগ্রহের ব্যাপারে তিনটি প্রধান বিষয়ে লক্ষ্য রাখা হয় যথা—(i) উপাদানগুলি উপযুক্ত মানের হইতে হইবে ; (ii) প্রয়োজনানুযায়ী যথেষ্ট পরিমাণে প্রাপ্য হওয়া চাই ; এবং (iii) উৎপাদন ও পরিবহনের ব্যয় পরিকল্পনানুযায়ী হইতে হইবে। শিলাসমূহের উৎসের সন্ধানে কারিগরী ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ তাঁহার পূর্বার্জিত ধারণানুযায়ী সমীক্ষার কাজে অগ্রসর হন। যদি পরিকল্পিত নির্মাণকার্য্যের নির্ধারিত স্থান ও তাহার পারিপার্শ্বিক এলাকার ভূতাত্ত্বিক বিশেষত্ব তাঁহার অবিদিত থাকে, সেক্ষেত্রে ভূপৃষ্ঠে সমীক্ষা চালাইয়া ভূতাত্ত্বিক মানচিত্র প্রস্তুতের প্রয়োজন হয়। ইহার পর ভূছিদ্র করিয়া এবং ভূপদার্থিক সমীক্ষার দ্বারা পাতালিক অনুসন্ধান করা হয়। এই উপায়ে লব্ধ জ্ঞান হইতে গাঁথনির উপযুক্ত উপাদানসমূহ সম্বন্ধে উপরোক্ত তিনটি বিষয়ে সঠিক ধারণা করিতে পারা যায়। এই অনুসন্ধানের প্রথাসমূহের বিস্তারিত আলোচনা তৃতীয় অধ্যায়ে পূর্বেই করা হইয়াছে।

গাঁথনির প্রয়োজনে শিলাখণ্ডসমূহ শিলাবিশেষের খাত হইতে খনন করিয়া সংগ্রহ করা হয়। এই সংগ্রহস্থলগুলি খোলা খাতের (Open quarry) ধরণের হয় এবং উদ্‌ভেদগুলির বিকাশকল্পে প্রথমে উহাদের অবখাত (Overburden) কত মোটা তাহা নির্ধারণ করা হয়। পরে এই অবখাত অপসারণের কাজ চলিতে থাকে ও সাথে সাথে শিলাখণ্ড সংগ্রহ করা হয়। কার্য্যক্ষেত্রে দেখা গেছে যে এই অবখাতের স্থূলতা অতি অল্প হইতে বেশ কয়েক মিটার হয় তবে দশ মিটারের অধিক

হইলে উহার অপসারণের ব্যয়ের অঙ্ক অপরিমিত হইয়া পড়ে। খোলা খাত "ভূমিসোপান" (Benches) প্রথায় করা হয় এবং ইহার ক্রম-বিকাশের সঙ্গে সঙ্গে বিরাট শূন্যস্থানের সৃষ্টি হইতে থাকে। বহুক্ষেত্রে এই শূন্যস্থানগুলি সংগৃহীত অবখাতের দ্বারা ভরাট করা হয়। যে কোন বৃহৎ নির্মাণকার্য্যের পরিকল্পনায় শিলাখণ্ড প্রভৃতির সুষ্ঠু সরবরাহের জন্য নিকটস্থ এক বা একের অধিক খাত হইতে সংগ্রহের ব্যবস্থা করা হয় এবং সরবরাহের চাহিদা বেশী হইলে যান্ত্রিক উপায়ে খাতের কার্য্য চালান হয়। এই প্রথানুযায়ী শিলা-উদ্‌ভেদে কয়েকটি অগভীর ছিদ্র করিয়া ঐ গুলিতে বিস্ফোরক দ্রব্য ভরা হয় এবং পরে বিস্ফোরণ ঘটাইয়া অল্পায়াসে ও কম সময়ে অধিক পরিমাণে প্রয়োজনীয় উপাদান সংগ্রহ করা হয়। তবে এই বিস্ফোরকের মাত্রা শিলাস্তরের কাঠিন্য অনুযায়ী হিসাব করিয়া ব্যবহার না করিলে শিলাসমূহ অধিকমাত্রায় চূর্ণীভূত হইয়া পড়ার সম্ভাবনা দেখা দেয়। বিস্ফোরণ দ্বারা ও যান্ত্রিক পদ্ধতিতে খাতের ক্রম বিকাশের সাথে সাথে প্রচুর পরিমাণে চূর্ণীভূত শিলা সংগৃহীত হয়। তবে এইগুলি নানা মাপের হয় এবং ছাঁকনী জালের সাহায্যে ইহাদের বিভিন্ন আকারের মাপে পৃথক করা হয়। বর্তমানে চূর্ণীকরণ যন্ত্রের (Gyratory ও Jaw crushers) সাহায্যে প্রয়োজনমত বিভিন্ন মাপের শিলাচূর্ণ প্রস্তুত করা হয় এবং পরে ছাঁকনী জালের দ্বারা উহাদের পৃথকীকরণ সম্পন্ন হয়। ছাঁকনী জালের পরিবর্তে grizzly নামক যন্ত্রের সাহায্যে অপেক্ষাকৃত বড় আকারের শিলাটুকরা বিভিন্ন মাপে পৃথক করা হয়।

এইবার বালু, উধোপল, কবোপল ইত্যাদির সম্ভাব্য উৎস সম্বন্ধে আলোচনা করা হইতেছে। ইতিপূর্বে বলা হইয়াছে যে বড বড় পাহাড়ী নদীগুলিতে পাহাড়ের অব্যবহিত পাদদেশে এবং গিরিখাতের মুখে নানা ধরণের শিলার সমাবেশ হয় এবং নদীগুলির বক্ষে চড়াসমূহ হইতে প্রয়োজনমত শিলা সংগ্রহ করা হয়। চড়াগুলিতে বিভিন্ন আকারের শিলা-গুলি মিশ্রিত অবস্থায় থাকে। পাহাড়ের তলদেশে ও নদীবক্ষের বিভিন্ন স্থানে এই শিলা উৎসগুলি ভিন্ন ভিন্ন নামে পরিচিত হয় যথা ভগ্নাশ (Talus) অবক্ষেপ (Deposit); পাললিক পক্ষ (Alluvial fan) অবক্ষেপ; বেদী (Terrace) অবক্ষেপ; প্লাবনভূমির (Flood-plain) অবক্ষেপ; হিমবাহজাত (Glacial) অবক্ষেপ ইত্যাদি। এই আখ্যাসমূহ হইতে অতি সহজেই ঐ সকল উৎসের স্থান ও উৎপত্তির কারণ বুঝা যায়। ভগ্নাশ চূর্ণীভূত শিলার ভাল উৎস। এইরূপ উৎস হইতে শিলা ও বালু সংগ্রহ

করা সম্ভব হয়, অবশ্য উহাদের পৃথকীকরণের সুবিধা থাকা প্রয়োজন। পাললিক পঙ্ক জাতীয় উৎস পাহাড়ের খাড়া চালু অংশ হইতে নিম্নস্থ স্বল্প চালু জায়গা অবধি বিস্তৃত থাকে, তবে বৃহদাকারের কোনবিশিষ্ট শিলাখণ্ডসমূহ চালের উপরের দিকে জমা হয় এবং নীচের দিকে অপেক্ষাকৃত ছোট মাপের শিলা টুকরা পাওয়া যায়। বেদীজাতীয় অবক্ষেপ সাধারণতঃ নদীর দুই তীরে জমিতে থাকে এবং অনেকটা খাতের bench-এর আকার ধারণ করে। কখনও কখনও এইরূপ bench একের অধিক সংখ্যায় থাকে এবং একটি আর একটির অপেক্ষা উঁচু ধাপে বিরাজ করে। ইহার দ্বারা উহাদের সৃষ্টির ভূতাত্ত্বিক সময়ের পার্থক্য উপলব্ধি করা যায়। অনেক সময়ে নদীর প্লাবনভূমির দুইপাশেও এইরূপ bench-এর আকারে বালু ও উধোপলের অবক্ষেপ দেখা যায় এবং এইগুলি বেশ স্তরান্বিত (Stratified) ও অবক্রান্ত (Graded) অবস্থায় থাকে। সাধারণতঃ এই জাতীয় অবক্ষেপের প্রস্থ খুব বেশী হয়। হিমবাহ হইতে প্রবাহিত নিম্নগামী নদীগুলি তুষারাবৃত স্থান হইতে বেশ কয়েক কিলোমিটার দূরে অবক্ষেপের সৃষ্টি করে এবং সংকীর্ণ উপত্যকার মধ্যে আবদ্ধ থাকা ছাড়াও নীচের দিকে অনেকটা বিস্তৃত এলাকা জুড়িয়া এই অবক্ষেপ স্তরান্বিত ও অবক্রান্ত অবস্থায় থাকে। এই জাতীয় অবক্ষেপে অতি মিহি হিমজ মৃত্তিকা (Glacial clay) হইতে বড় বড় সাল (Boulder) পাওয়া যায়।

নির্মাণকার্য্যে প্রয়োজনীয় বালু, উধোপল, সাল ইত্যাদির উৎসের সন্ধানে ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষা করিয়া ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ প্রথমে পরীক্ষিত উৎসের জন্ম-রহস্য সম্বন্ধে সঠিক জ্ঞানলাভের চেষ্টা করেন এবং উপরে বর্ণিত উৎসসমূহের কোনটির সহিত ঐ পরীক্ষিত উৎসের সাদৃশ্য আছে তাহা নির্ণয় করিতে চেষ্টা করেন। কারণ উৎসের প্রকারভেদের উপর উপাদানের উপযুক্ত মান এবং উৎসের সরবরাহ ক্ষমতা নির্ভর করে। ইহা ছাড়া স্থানীয় জলপীঠ সম্বন্ধে সম্যক্ অনুসন্ধানের বিশেষ প্রয়োজন হয়, কারণ খাতের কাজ চলিবার সময়ে জলপীঠ জনিত কোন বিপত্তির সম্মুখীন হইতে হইবে কি না এবং অবস্থানুযায়ী কিরূপ ব্যবস্থাবলম্বনের প্রয়োজন হইবে সেই বিষয়ে পূর্ব হইতেই হিসাব করা সমীচীন। অনেক ক্ষেত্রে জল-পীঠের উপরিভাগে খাত হইতে মাল উত্তোলন সুবিধাজনক হইলেও জলপীঠের নীচ হইতে শিলা সংগ্রহের কাজ কষ্টকর এবং বিশেষ অসুবিধা-জনক ও ব্যয়বহুল হইয়া পড়ে। ভূবিদ্যাবিশেষজ্ঞ তাঁহার সমীক্ষাকাজে

বিভিন্ন উৎস পরীক্ষা করিয়া ইহাও স্থির করেন যে কোন কোন উৎস হইতে কি মাপের এবং পরিমাণের উপাদান পাওয়া যাইবে এবং নির্মাণ-কার্য্যের প্রয়োজনীয় মাপের উপাদান সরবরাহকল্পে ঐ সকল উৎসের উপাদান কি অনুপাতে মিশ্রিত করিতে হইবে।

ভারতবর্ষে কারিগরী গঠনকার্য্যের শিলাসমূহের উৎসগুলির বর্ণনা

এতক্ষণ নির্মাণকার্য্যের প্রয়োজনে শিলাজাতীয় উপাদানের প্রাকৃতিক উৎসের বিভিন্ন চরিত্র সম্বন্ধে আলোচনা করা হইল। এখন আমাদের দেশে এইসকল উৎসের স্থান কোথায় সেই বিষয়ে সংক্ষিপ্ত বিবরণ দেওয়া হইতেছে। ভূবিদ্যার ছাত্রের সকলেরই জানা আছে যে ভারতবর্ষকে ভূমিবৃত্তিক (Physiographic) হিসাবে তিনভাগে বিভক্ত করা হয় যথা—(a) উপদ্বীপীয় অঞ্চল (Peninsular Region); (b) উত্তর-পূর্ব ও উত্তর-পশ্চিম হিমালয় অঞ্চল (Extra-Peninsular Region); এবং (c) ইন্দো-গঙ্গা সমতলভূমি (Indo-Ganga Plain)। এই তিন অঞ্চলে অবস্থিত নির্মাণকার্য্যে ব্যবহারযোগ্য উপাদানের গুণাগুণের প্রভেদ ও উহাদের অবক্ষেপের বৈশিষ্ট্য বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয়। উপদ্বীপীয় অঞ্চলে যে কোন প্রকার নির্মাণকার্য্যের উপযুক্ত শিলাজাতীয় উপাদান যথেষ্ট পরিমাণে পাওয়া যায়। Extra-Peninsular অঞ্চলে বেদীজাতীয় অবক্ষেপে উপস্থিত উধোপল ইত্যাদি এবং পৃথক স্তরায়িত ও রূপান্তরিত শিলার উদ্ভেদ পাওয়া যায় কিন্তু উহাদের পরিমাণ সীমিত। আর ইন্দো-গঙ্গা সমতলভূমিতে নদীবাহিত গাঁথনির উপযুক্ত উপাদান খুবই সীমিত পরিমাণে পাওয়া যায়।

উপদ্বীপীয় এলাকায় প্রাক্-কেম্ব্রিয়ান কল্পের (Pre-Cambrian era) শিলাসমূহ অফুরন্ত। এই শিলাসমূহের মধ্যে নির্মাণকার্য্যের জন্য অতীব উপযোগী গ্র্যানিট (Granite), নাইস (Gneiss), কোয়ার্টজাইট (Quartzite) জাতীয় আগ্নেয় ও রূপান্তরিত প্রস্তর যথেষ্ট পরিমাণে পাওয়া যায়। Cuddapah এবং Vindhyan System-এর বালুশিলা-গুলিও গাঁথনির কাজে খুবই উপযোগী। ঐতিহাসিক যুগের বহু পুরাতন দুর্গ, রাজপ্রাসাদ, সেতু ইত্যাদির নির্মাণে ইহারা যথেষ্ট পরিমাণে ব্যবহৃত হইয়াছে। Gondwana System-এও বালুশিলার ভাগ খুব বেশী, কিন্তু ইহাদের ভারবহনের ক্ষমতা অপেক্ষাকৃত নিম্নমানের হওয়ায় গাঁথনির

কাজে ইহারা খুব বেশী স্থান পায় না। তবে earth dam ও rock-fill বাঁধের নির্মাণে rip rap হিসাবে এই জাতীয় প্রস্তর কিছু পরিমাণে ব্যবহার করা যায়। উপদ্বীপীয় অঞ্চলে আগ্নেয়গিরিজাত শিলা (Deccan Trap নামে অভিহিত) বিস্তৃত এলাকায় বিদ্যমান। মধ্যপ্রদেশ ও মহারাষ্ট্রে এই জাতীয় শিলার উদ্ভেদ প্রায় পাঁচ লক্ষ বর্গ কিলোমিটার ব্যাপিয়া আছে। এই জাতীয় শিলাকে ব্যাসল্ট বলা হয় এবং ইহার দৃঢ়তা ও স্থায়িত্ব খুব বেশী হওয়ায় ইহা নির্মাণকার্য্যে খুবই আদরণীয়। রেলপথে ballast হিসাবেও ইহা খুব উপযোগী এবং যথেষ্ট পরিমাণে ব্যবহার হয়। তবে এই শিলায় অনিষ্টকর সিলিকাজাতীয় খনিজ বস্তু যথা চার্ট (Chert), আগ্নেয়গিরিজাত কাঁচ (Volcanic glass) ইত্যাদি অধিক পরিমাণে থাকায় সিমেণ্টের সহিত কংক্রীট প্রস্তুতের জন্য aggregate হিসাবে ইহার ব্যবহার ভালভাবে শিলাবীক্ষণিক বিশ্লেষণের ফলাফল জানিয়া তবেই করা বাঞ্ছনীয়। কারণ উপরোক্ত খনিজ বস্তুগুলি সিমেণ্টের সংঘটনে উপস্থিত ক্ষারজাতীয় উপাদানের সঙ্গে কংক্রীট জমিবার সময়ে রাসায়নিক প্রতিক্রিয়ার সৃষ্টি করে ও ফলে কংক্রীটের শক্তিহানি হয়। পশ্চিমবঙ্গে ও বিহার প্রদেশে Rajmahal Trap নামে অভিহিত আগ্নেয়গিরিজাত শিলা নির্মাণকার্য্যে যথেষ্ট পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। ইহা "Pakur Stone" নামে সাধারণতঃ পরিচিত।

Extra-Peninsular অঞ্চলে নাইস এবং কোয়ার্টজাইটজাতীয় রূপান্তরিত শিলা সীমিত পরিমাণে পাওয়া যায় এবং coarse aggregate হিসাবে ইহারা উপযোগী। কিন্তু বড় বড় বাঁধ ও গুরুত্বপূর্ণ কারিগরী নির্মাণের উপযুক্ত শিলাপট্ট পাওয়া কঠিন। এই অঞ্চলে Tertiary যুগের পাললিক শিলাসমূহের মধ্যে কয়েক প্রকারের কঠিন বালুশিলা ব্যতিরেকে ভারবহনের উপযুক্ত গাঁথনির উপাদান খুবই বিরল।

ইন্দো-গঙ্গা সমতলভূমিতে নদীবাহিত উধোপলজাতীয় নির্মাণকার্য্যের উপযোগী উপাদান সীমিত পরিমাণে প্রাপ্তির সম্ভাবনা থাকায় ঐ সকল এলাকায় কোন বৃহদাকারের গুরুত্বপূর্ণ নির্মাণকার্য্যের জন্য গাঁথনির উপযুক্ত coarse aggregate এবং আনুষঙ্গিক শিলাজাতীয় উপাদানের চাহিদা উপদ্বীপীয় অঞ্চল হইতে মিটান হয়।

ভারতবর্ষে নদীবক্ষের বালুকণা fine aggregate হিসাবে খুব বেশী ব্যবহৃত হয়। গাঁথনির মশলার একটি প্রধান উপকরণ এই বালু। কংক্রীট প্রস্তুতের জন্যও বালুর ব্যবহার খুব বেশী, তাহা ছাড়া যে কোন

আস্তরণের মশলার একটি প্রধান উপকরণ হিসাবে বালু ব্যবহৃত হয়। পশ্চিমবঙ্গে হুগলী জেলার পাণ্ডুয়া, তারকেশ্বর, মগরা ইত্যাদি কয়েকটি জায়গায় ভূতাত্ত্বিক সময়ানুযায়ী অধুনা কল্পের (Recent era) বালুর অবক্ষেপ আছে। এইগুলি গঙ্গানদীর পূর্বকালের বেদীস্থান বলিয়া ধারণা করা হয় এবং এইস্থানগুলিতে খনন করিয়া বালু আহরণ করা হয়। তবে এই বালু সাধারণতঃ মিহি বা অতিমিহি প্রকারের হয় এবং গৃহ-নির্মাণকার্যে অধিক পরিমাণে ব্যবহৃত হইলেও চূণ অথবা সিমেণ্টের সংযোগে আস্তরণের মশলা প্রস্তুতের জন্য অপেক্ষাকৃত মোটাদানা বালু বাঞ্ছনীয়। নদীবক্ষের বালু সাধারণতঃ মোটাদানা বিশিষ্ট হয় এবং এই বালু প্রাকৃতিক উপায়ে চূর্ণীভূত প্রস্তর ছাড়া আর কিছুই নহে। বাঁধ, সেতু ইত্যাদি কারিগরী নির্মাণকার্য্যে নদীবক্ষের যে বালু ব্যবহার করা হয় তাহাতে শেল, clay, অভ্র ইত্যাদি ক্ষতিকর বস্তুর উপস্থিতিজনিত অসুবিধার সৃষ্টি হয় এবং ইহাদের পরিমাণ শতকরা পাঁচভাগের কম যাহাতে থাকে সেবিষয়ে দৃষ্টি রাখিতে হয়। এই বালুর আপেক্ষিক গুরুত্বও (Specific Gravity) 2·6-এর বেশী হওয়া প্রয়োজনীয়। ভারতের উপদ্বীপীয় অঞ্চলে পরিকল্পিত বৃহদাকারের নির্মাণকার্য্যে প্রয়োজনীয় বালু নিকটস্থ বড় বড় নদ নদী যথা দামোদর ও তাহার শাখা নদীবক্ষ হইতে আহরিত হয় বা হইয়াছে। দামোদর উপত্যকা কর্পোরেশনের (D.V.C.) পরিকল্পিত বাঁধগুলির নির্মাণে ঐ বালু ব্যবহৃত হইয়াছে। Extra-Peninsular অঞ্চলের নদীগুলিতে সাধারণতঃ খুব মিহি বালু অধিকমাত্রায় অভ্রমিশ্রিত অবস্থায় পাওয়া যায়। এই অভ্রের উপস্থিতি ক্ষতিকর। সেই কারণে অনেকক্ষেত্রে বালু ধৌত করিয়া অভ্রের ভাগ হ্রাস করা হয়। তাহা ছাড়া কোয়ার্টজাইট বা বালুশিলা চূর্ণীভূত করিয়া এইসকল অঞ্চলের নদীর বালুর সহিত সংমিশ্রণ ঘটাইয়া উপযুক্ত মানের fine aggregate প্রস্তুত করা হয়। ইন্দো-গঙ্গা সমতলভূমিতে প্রবাহিত নদীগুলিতে বৃহদাকারের উপযুক্ত মানের বালুর চড়া বিরল। সুতরাং নির্মাণকার্য্যের প্রয়োজনীয় fine aggregate উপদ্বীপীয় অঞ্চল হইতে আমদানী করিতে হয়।

ভারতবর্ষে প্রাকৃতিক Pozzolan-এর উৎস

আমাদের দেশে প্রাকৃতিক pozzolan জাতীয় উপাদানের বিভিন্ন উৎস সম্বন্ধে এখন আলোচনা করা হইতেছে। দেশের বিভিন্ন স্থানে অবস্থিত

নানাপ্রকারের ভূতাত্ত্বিক গঠন হইতে এইজাতীয় উপাদান সংগ্রহ করা সম্ভব। উত্তর ভারতের পাঞ্জাবের Tertiary যুগের শেল ও clay; জম্মু ও কাশ্মীর রাজ্যের Pir Panjal পর্বতের অম্লপ্রধান (Acidic) আগ্নেয়গিরিজাত শিলা এবং ঐ রাজ্যে প্রাপ্ত Fuller's earth ও bentonite pozzolan হিসাবে ব্যবহারের উপযোগী। উত্তর প্রদেশের মির্জাপুর জেলার Singrauli কয়লাখনি অঞ্চলের Gondwana Shales ও নিকটবর্তী Rihand বাঁধের আশেপাশে অবস্থিত phyllite জাতীয় শিলাসমূহ pozzolan হিসাবে ব্যবহার করা যাইতে পারে। রাজস্থানের বিকানীর জেলার Fuller's earth ও bentonite; Jaisalmer এবং Palana এলাকার Tertiary শেল ও clay এবং Malani ও যোধপুর এলাকায় অবস্থিত আগ্নেয়গিরিজাত ভস্মের দৃঢ়সংবদ্ধ অংশ (Tuff) pozzolan জাতীয় উপাদানের উৎস বলিয়া গণ্য হয়। পূর্ব ভারতের কয়লাখনি সংলগ্ন Gondwana Shales; Cuddapah Shales; Rajmahal Trap-এর কাঁচিক অংশবিশেষ; রাঁচীর মালভূমিতে স্থিত lithomargic clay মৃত্তিকা; সিংভূমের Iron-ore Series এবং Dalma আগ্নেয়গিরিজাত ভস্মের দৃঢ়সংবদ্ধ অংশসমূহ এবং উড়িষ্যার Gangpur Series-এর phyllite জাতীয় প্রস্তর pozzolan হিসাবে ব্যবহারের উপযোগী বলিয়া বিবেচিত হইয়াছে। ইহা ছাড়া আন্দামান ও নিকোবর দ্বীপপুঞ্জের diatomaceous earth; Tertiary যুগের shales ও Radiolarian Cherts প্রভৃতি pozzolan-এর উৎস বলিয়া গণ্য হইয়াছে। দক্ষিণ ভারতের উপদ্বীপীয় অঞ্চলে Tertiary এবং Jurassic কালের শেল; Vindhyan এবং Cuddapah যুগের শেল; Deccan Trap-এর মধ্যে আগ্নেয়গিরিজাত ভস্ম ও উহার দৃঢ়সংবদ্ধ অংশ এবং Katni (মধ্যপ্রদেশ) অঞ্চলের bauxite জাতীয় খনিজবস্তুর সংস্তরের নিম্নদেশে অবস্থিত lithomargic clay মৃত্তিকা pozzolan হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

ত্রয়োদশ অধ্যায়

ভারতবর্ষের কয়েকটি নির্বাচিত কারিগরী পরিকল্পনার সংক্ষিপ্ত বিবরণী

এই অধ্যায়ে আমাদের দেশে যে সকল বৃহদাকারের বাঁধ ও সুড়ঙ্গ ইত্যাদির পরিকল্পনা এবং তাহাদের নির্মাণকার্য্য সমাধা করা হইয়াছে অথবা হইতেছে সেই সকলের মধ্যে উল্লেখযোগ্য কয়েকটির সম্বন্ধে সংক্ষিপ্ত আলোচনা করা হইতেছে। এই আলোচনার মাধ্যমে কারিগরী পরিকল্পনাগুলির ভূ-বৈজ্ঞানিক সমীক্ষা, উহাদের গঠনকার্য্যে স্থান নির্ণয়ের সমস্যা এবং গঠনের উপযুক্ত উপাদানসমূহের সহজ-প্রাপ্যতা ইত্যাদি অতি আবশ্যকীয় বিষয়গুলি বর্ণিত হইয়াছে, যাহার দ্বারা কারিগরী ভূবিদ্যা পঠনের এবং কার্য্যক্ষেত্রে তাহার (লব্ধ জ্ঞানের) যথোপযুক্ত প্রয়োগের সার্থকতা কিছুটা উপলব্ধি করা যাইবে।

ভারতবর্ষের স্বাধীনতালাভের অনেক আগে হইতে বিগত শতাব্দীর দ্বিতীয়ার্দ্ধের প্রারম্ভে কলিকাতা হইতে পাটনা অবধি রেলপথ নির্মাণের বিষয়ে কারিগরী ভূবিদ্যার সাহায্য লওয়া হয়। পরে উনবিংশ শতাব্দীর শেষদিকে মহীশূর স্বাধীনরাজ্যের মধ্যে Marikarive বাঁধের এবং মাদ্রাজ রাজ্যের Bhavani বাঁধের ও আরও কয়েকটি প্রস্তাবিত বাঁধের নির্মাণ-যোগ্য স্থান নির্বাচনে জিওলজিকাল সার্ভে অফ ইণ্ডিয়া সমীক্ষা চালায়। ইহা ছাড়াও উত্তর প্রদেশের নৈনীতালে রাজভবনের ভূস্খলনের ব্যাপারে কারিগরী ভূবিদ্যাজনিত উপদেশ বিশেষ ফলপ্রসূ হয়। বর্ত্তমান শতাব্দীর প্রারম্ভ হইতে এবং স্বাধীনতালাভের পূর্ববর্তীকালের মধ্যে দেশের বিভিন্ন স্থানে অনেকগুলি কারিগরী পরিকল্পনার ব্যাপারে ভূ-বৈজ্ঞানিক সমীক্ষা চালান হয়। এই পরিকল্পনাগুলির মধ্যে বাঁধ নির্মাণ ছাড়াও রেলপথ, সুড়ঙ্গ ও সেতু নির্মাণ অন্তর্ভুক্ত ছিল। ইহাদের মধ্যে Bhakra, Mettur, Tungabhadra, Lower Bhavani ও Jamuna বাঁধের পরিকল্পনা উল্লেখযোগ্য কারণ এইগুলির মধ্যে বেশ কয়েকটি পরিকল্পনাই বাস্তবে পরিণত হইয়াছে। এই সময়ের মধ্যে আসামের সহিত বঙ্গদেশের রেল-যোগাযোগ স্থাপন এবং অন্যান্য প্রদেশের মধ্যে আরও কয়েকটি রেলপথ

নির্মাণ কারিগরী নির্মাণকার্য্যের উল্লেখযোগ্য দৃষ্টান্ত। দার্জিলিং, কালিম্পং, নৈনীতাল, চম্বা ও Murree (অধুনা পাকিস্তানের অন্তর্ভুক্ত) প্রভৃতি কয়েকটি পার্বত্য নগরীতে ভূস্খলনের প্রতিরোধকল্পে অনেকগুলি কারিগরী ভূবিজ্ঞান সংশ্লিষ্ট ব্যাপারে সমীক্ষা করা হয় ও প্রয়োজনীয় নির্মাণ কার্য্য সমাধা হয়।

দেশ স্বাধীনতালাভের কিছুদিন পূর্বে তদানীন্তন গভর্ণমেণ্ট ভারতবর্ষের কয়েকটি স্থানে বন্যানিয়ন্ত্রণ ও জলবিদ্যুৎশক্তির সৃষ্টিকল্পে বহুমুখী বাঁধ পরিকল্পনার খসড়া প্রস্তুত করেন। এইগুলির মধ্যে বিশেষ উল্লেখযোগ্য দামোদর উপত্যকায় কয়েকটি বাঁধ নির্মাণের দ্বারা সর্বনাশা বন্যার কবল হইতে প্রাণী ও সম্পত্তির রক্ষা এবং সেই সাথে চাষের সুবিধার জন্য জলসেচের ব্যবস্থা ও শিল্পোন্নয়নকল্পে জলবিদ্যুৎশক্তির উন্নয়ন। এই কয়েকটি মুখ্য উদ্দেশ্য ছাড়াও বাঁধের জলাধারগুলিতে মৎস্য চাষ এবং মৃত্তিকা সংরক্ষণের দ্বারা জমির ক্ষয়নিবারণ ও সেইগুলিকে চাষোপযোগী করা এবং সেচের খালগুলিকে জলযানের গমনাগমনের উপযোগী করা এই পরিকল্পনাগুলির অন্তর্ভুক্ত ছিল। ঐ সময় বরাবর পাঞ্জাবে Bhakra-য় শতদ্রু (Sutlej) নদীতে বাঁধ নির্মাণ করিয়া আর একটি বিরাট জলবিদ্যুৎশক্তি উন্নয়নের ও সেচের পরিকল্পনা করা হয়। উড়িষ্যার সম্বলপুর জেলার হীরাকুদেও মহানদীর উপরে অনুরূপ একটি বহুমুখী বাঁধ নির্মাণের পরিকল্পনা করা হয়। দামোদর উপত্যকার পরিকল্পনার রচনা যুক্তরাষ্ট্রের Tenesse Valley Authority-র (T.V.A.) অনুকরে প্রস্তুত করা হয় এবং এই পরিকল্পনাকে কার্য্যে পরিণত করার উদ্দেশ্যে দামোদর উপত্যকা কর্পোরেশন (D.V.C.) নামে একটি সংস্থার সৃষ্টি করা হয়।

দামোদর উপত্যকা পরিকল্পনা (বিহার ও পশ্চিমবঙ্গ)

এই বহুমুখী পরিকল্পনানুযায়ী প্রথমে Maithon, Tilaiya, Konar এবং Panchet Hill এই চারিটি বাঁধ নির্মাণ করা ও দুর্গাপুরে একটি barrage (সেচ বাঁধ) এবং Bokaro-তে একটি তাপ বিদ্যুৎ কেন্দ্র গঠন করার সিদ্ধান্ত লওয়া হয়। Maithon ও Tilaiya বাঁধ দুইটি বরাকর (Barakar) নদীর উপরে, Konar বাঁধটি ঐ নামের নদীর উপরে এবং Panchet Hill বাঁধ ও Durgapur Barrage দামোদর (Damodar) নদীর উপরে নির্মিত হইয়াছে। উপরোক্ত বাঁধগুলির নির্মাণের স্থানে

সাধারণতঃ granite, granite-gneiss, amphibolite, mica-schist ও quartzite জাতীয় শিলাসংস্তর আছে। এইগুলির অনুদৈর্ঘ্যের (Strike) প্রবণতা N.N.W.—S.S.E. হইতে W.N.W.—E.S.E. দিকে দেখা যায় এবং পত্রায়ণের (Foliation) নতি (Dip) 40° হইতে 70° অবধি E.N.E. হইতে N.N.E. দিক পর্য্যন্ত পরিলক্ষিত হয়। D.V.C. project-এর বাঁধগুলির নির্মাণে granite এবং gneiss শিলাসমূহ ব্যবহৃত হইয়াছে। তবে Panchet Hill বাঁধে granulite-ও ব্যবহার করা হইয়াছে। নিম্নে এই বাঁধগুলি ও barrage পৃথকভাবে বর্ণিত হইতেছে।

Maithon Dam—এই বাঁধটির নির্মাণকার্য্য 1957 খ্রীষ্টাব্দে শেষ হয়। ইহা বরাকর নদীর উপর গঠিত হইয়াছে এবং ইহার নির্মাণস্থল বরাকর ও দামোদর নদীর সংযোগস্থানের প্রায় তের কিলোমিটার up-stream-এ। ইহা উচ্চতায় প্রায় 49 মিটার এবং দৈর্ঘ্যে 4882 মিটার। তবে ইহা একটি বিমিশ্র (Composite) ধরণের বাঁধ এবং ইহার দৈর্ঘ্যের অনেকটা earthen dykes দিয়া গঠিত। বাঁধটির নির্মাণস্থলে ও আশে পাশে mica-granulite এবং granulite-gneiss ও schist জাতীয় শিলা-সংস্তর বিদ্যমান এবং ইহাদের পত্রায়ণের সহিত বাঁধের অক্ষ তির্যকরূপে আছে। শিলাগুলি ভূপৃষ্ঠে খুবই সন্ধিপূর্ণ এবং খোলা ও এলোমেলো অবস্থায় দেখা যায় তবে নীচের দিকে এই সন্ধিসকল প্রায় লুপ্ত এবং থাকিলেও ঐগুলি নিরেট ও সম্পূর্ণ বন্ধ অবস্থায় পাওয়া যায়। এই বাঁধের দক্ষিণপ্রান্তে ইহার spillway নির্মিত হইয়াছে এবং জলবিদ্যুৎ শক্তি উৎপাদন কেন্দ্রটি বাঁধের বামদিকে ভূগর্ভে অবস্থিত। 60,000 কিলোওয়াট বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন ক্ষমতা বিশিষ্ট এই কেন্দ্রটির নির্মাণকালে উহার ভিত্তিস্থানে সন্ধিপূর্ণ granite এবং dolerite থাকায় ঐগুলিকে বিশেষ ভাবে বিস্তৃত এলাকা জুড়িয়া grouting করা হইয়াছে।

Tilaiya Dam—বরাকর নদীর উপর এই 30 মিটার উঁচু বাঁধটি 1952 খ্রীষ্টাব্দের ডিসেম্বর মাসে শেষ হয়। ইহা একটি straight gravity design-এর কংক্রীটের বাঁধ এবং দৈর্ঘ্যে প্রায় 364 মিটার। 6,000 কিলোওয়াট বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন ক্ষমতা বিশিষ্ট এই বাঁধটির ভিত্তিস্থানে quartzite এবং mica-schist-এর বিস্তর (Bands) পর্য্যায়ক্রমে আছে এবং schistose বিস্তরগুলি অনেকক্ষেত্রে বেশ গভীর তলদেশ অবধি ক্ষয়প্রাপ্ত হইয়াছে। Quartzite-এর বিস্তরগুলি যদিও সাধারণতঃ সংহত (Massive), তথাপি কয়েক জায়গায় সঙ্ক স্তরান্বিত (Flaggy) প্রস্তরের

অন্তর্নিবেশ (Intercalation) বিদ্যমান। এই কারণে এই স্থানগুলি বেশ কিছুটা বিশরিত এবং ক্ষয়প্রাপ্ত হইয়াছে। সুতরাং এই অপেক্ষাকৃত নরম ও ক্ষয়প্রাপ্ত অংশের প্রস্থের মাপ যতটা প্রায় ততটা গভীর তলদেশ হইতে খনন করিয়া ঐ দুর্বল শিলাংশ অপসারিত করা হইয়াছে এবং সেই শূন্য স্থানগুলি কংক্রীট দিয়া পূরণ করিয়া দেওয়া হইয়াছে।

Konar Dam—এই বাঁধটি একটি composite গঠন এবং প্রায় 48·5 মিটার উঁচু। ইহা Konar নদীর উপরে নির্মিত এবং 1955 খ্রীষ্টাব্দে ইহার নির্মাণকার্য্য শেষ হয়। Bokaro তাপবিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্রকে 400 cusecs জল সরবরাহের জন্য ঐ স্থান হইতে প্রায় 17·6 কিলোমিটার downstream-এ এই বাঁধের নির্মাণ পরিকল্পনা করা হয়। ইহার ভিত্তিস্থানে biotite-gneiss ও schist এবং তৎসহ hornblende-gneiss ও granitoid schist জাতীয় শিলাসংস্তর বলিবিশিষ্ট (Folded) অবস্থায় আছে। এই সকল শিলার উদ্‌ভেদ নদীবক্ষে সীমায়িত এবং ইহাদের অনুদৈর্ঘ্য বাঁধের অক্ষের আড়াআড়ি। সেই কারণে নদীবক্ষের শিলাগুলির উপরেই spillway নির্মিত হইয়াছে। নদীর দুই পাশে 12 হইতে 23 মিটার অবধি মোটা অবখাতের নিম্নে শিলা আচ্ছাদিত হইয়া আছে। প্রায় তিন মিটার একটি মুখ্য যন্ত্রীমণ্ডল ও আনুষঙ্গিক কয়েকটি অপেক্ষাকৃত ছোট ও কম গুরুত্বের চ্যুতিতল বাঁধের অক্ষপথের সহিত তির্যকভাবে থাকায় ঐগুলি ভিত্তিস্থানের দুর্বলতার লক্ষণ হিসাবে বিবেচিত হয় এবং ঐ সকল স্থানগুলি হইতে খননের দ্বারা বিশরিত শিলাংশ-সমহ অপসারণ করিয়া কংক্রীটের সাহায্যে পূরণ করিয়া দেওয়া হইয়াছে।

Panchet Hill Dam—দামোদর নদীর উপর নির্মিত এই বাঁধটি উচ্চতায় প্রায় 40 মিটার এবং দৈর্ঘ্যে 6713 মিটার। ইহাও একটি composite গঠন এবং ইহার ভিত্তিস্থানে অম্লপ্রধান (Acidic) granulite, gneiss এবং schist জাতীয় শিলা বিদ্যমান। তবে বাঁধের দক্ষিণ পাড়ে উঁচু জায়গায় Gondwana যুগের বালুশিলা, শেল এবং fire-clay-র উদ্‌ভেদ আছে। এই প্রাক্-Cambrian যুগের granulite প্রভৃতি শিলাসংস্তরগুলির সহিত Gondwana যুগের শিলাস্তরগুলির সংযোগস্থল চ্যুত (Faulted) দেখা যায়। বাঁধটির নির্মাণকালে উহার বামদিকে যে স্থান দিয়া নদীর গতিপথ পরিবর্তন (Diversion) করা হইয়াছিল, সেই গতিপথের উপর কংক্রীটের spillway নির্মাণ করা হইয়াছে। এই বাঁধের সংশ্লিষ্ট জলবিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্রটি 40,000 কিলোওয়াট শক্তিসম্পন্ন।

এই উৎপাদন কেন্দ্রটির ভিত্তিস্থানে অবস্থিত garnetiferous schist জাতীয় শিলাসমূহ চ্যুতিবিশিষ্ট ও দুর্বল প্রতিপন্ন হওয়ায় যাহাতে ঐ কেন্দ্রটির বসিয়া যাওয়ার কোনরূপ বিপত্তি দেখা না দেয় তাহার জন্য পার্শ্বস্থ শিলাস্তূপের সহিত গাঁথনির বাঁধন দেওয়া হইয়াছে। এই বাঁধের জলাধার হইতে ক্ষরণজনিত জলের দ্বারা পার্শ্বস্থ কয়লাখনি সমূহের প্লাবনের আশঙ্কা করা হইয়াছিল, কিন্তু সমীক্ষার দ্বারা ঐ আশঙ্কা অমূলক প্রমাণিত হইয়াছে।

Durgapur Barrage—দুর্গাপুরের নিকট দামোদর নদীর উপর এই 692 মিটার দীর্ঘ এবং 11·58 মিটার উঁচু barrage-টির নির্মাণকার্য্য 1955 খ্রীষ্টাব্দের আগষ্ট মাসে সম্পন্ন হয়। দামোদর উপত্যকার উপরদিকে নির্মিত বাঁধগুলির নিষ্কাশিত জল একত্র করিয়া উহা নাব্য (Navigable) ও সেচের উপযুক্ত নালিক (Network) খালের সাহায্যে প্রবাহিত করার পরিকল্পনানুযায়ী এই barrage নির্মাণ করা হয়। ইহার নির্মাণ স্থানে অতিরিক্ত অবঘাতের উপস্থিতির জন্য ইহাকে একটি ভাসমান (Floating) গঠন হিসাবে নির্মাণ করার design করা হয়। সেই কারণে ইহার নির্মাণ স্থানের কোনরূপ ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষার প্রয়োজন হয় নাই। কেবল নির্মাণের প্রয়োজনীয় aggregate সমূহের নিকটস্থ উৎসের ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান করা হয়। এই barrage-এর বামদিকের প্রধান খালটিকে প্রায় 137 কিলোমিটার দীর্ঘ অংশ অবধি নৌ-চলাচলের উপযুক্ত করা হইয়াছে।

Tenughat Dam—দামোদর উপত্যকা কর্পোরেশনের পরিকল্পনানুযায়ী প্রথমে Tilaiya, Konar, Maithon ও Panchet Hill বাঁধগুলি এবং Durgapur barrage-টি নির্মিত হইবার প্রায় দেড় দশকের পর Bokaro ইস্পাত কারখানার জলের চাহিদা মিটাইবার জন্য Tenughat-এ দামোদর নদীবক্ষে এই বাঁধ নির্মাণ আরম্ভ হয়। Masonry spillway সমেত ইহা একটি চার কিলোমিটার দীর্ঘ ও প্রায় 50 মিটার উঁচু rolled earth dam। এই বাঁধ East Bokaro Coalfield-এর দক্ষিণপ্রান্তে অবস্থিত এবং Bokaro ইস্পাত কারখানা হইতে ইহার দূরত্ব প্রায় 35 কিলোমিটার। বাঁধের কাছে দামোদরের দক্ষিণদিকে Basement Gneissic Complex শ্রেণীর শিলাসংস্তর বিদ্যমান এবং নদীর উত্তর পাড়ে এই জাতীয় শিলার উপরে পাললিক শিলাস্তর আছে। এই দুই শ্রেণীর শিলাসংস্তরের সংযোগস্থল চ্যুতিতলের দ্বারা চিহ্নিত এবং এই চ্যুতিতলের অনুদৈর্ঘ্য পূর্ব হইতে পশ্চিমে ও ইহার নতি উত্তরদিকে 70° পরিমাপিত হইয়াছে। এই

চ্যুতিতলটিই কয়লাখনি অঞ্চলের Main Boundary Fault এবং ইহার সহিত সমান্তরালভাবে আরও কয়েকটি পরবর্তীকালের অপেক্ষাকৃত গৌণ-প্রকৃতির চ্যুতিতল ও মন্ত্রীমণ্ডল রূপান্তরিত ও পাললিক শিলা উভয়েরই উদ্ভেদের মধ্যে দেখা যায়। বাঁধটির ভিত্তিস্থানে অল্প ভাঁজবিশিষ্ট amphibolite, garnetiferous gneiss এবং biotite-hornblende schist জাতীয় রূপান্তরিত শিলাসংস্তর আছে। এইস্থানে নদীর প্রবাহ N.E.—S.W. দিকে এবং শিলাসংস্তরের পত্রায়ণও নদীর প্রবাহের সহিত সমান্তরাল, তবে এই পত্রায়ণের নতি S.E. দিকে এবং পরিমাণ 25° নির্ধারিত হইয়াছে। শিলাগুলি সন্ধিপূর্ণ এবং সন্ধিগুলির প্রবণতাও N.E.—S.W. দিকে, কিন্তু এইগুলি প্রায় উর্ধ্বাধ। ভিত্তিস্থানে শিলাসমূহের সন্ধিগুলি ও মন্ত্রীমণ্ডলসমূহ দুর্বলতার নির্দেশ দেওয়ায় ঐ সম্বন্ধে নিরাপত্তা ব্যবস্থা অবলম্বন করা হইয়াছে। 188 মিটার দীর্ঘ masonry spillway টি দামোদর নদীর দক্ষিণতীরে অবস্থিত এবং ইহার ভিত্তিস্থানের নিম্নদেশে প্রায় নয় মিটার অবধি দৃঢ়ীভবন করা হইয়াছে ও প্রায় 24 মিটার অবধি curtain grouting করিয়া নিশ্ছিদ্র করা হইয়াছে যাহাতে spillway-র নিম্নদেশ হইতে কোনরূপ ক্ষরণ না হয়। ইহা ছাড়া spillway-র 5, 6 এবং 7 নম্বর blocks-গুলিকে একত্রিত (Monolith) করা হইয়াছে যাহাতে উহার ভিত্তিস্থানের দুর্বলতাজনিত বিপত্তির কোন সম্ভাবনা না থাকে। বাঁধের জলাধারের দিকে Main Boundary Fault-এর প্রায় 300 মিটার দীর্ঘ অংশ 1·5 মিটার পুরু নিশ্ছিদ্র clay মৃত্তিকার দ্বারা আচ্ছাদিত করিয়া জলক্ষরণের আশঙ্কা দূর করা হইয়াছে।

ভারতের অন্যান্য কয়েকটি কারিগরী প্রকল্প

Jaldhaka Project (উত্তর বঙ্গ)—এই প্রকল্পটি জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের জন্য করা হয় এবং এখনও অবধি উত্তর বঙ্গে বড় আকারের এইরূপ প্রকল্প হিসাবে ইহাই প্রথম, যদিও ভারতবর্ষে সর্বপ্রথম 1897-1898 খ্রীষ্টাব্দে দার্জিলিঙে জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন হয়। জলঢাকা নদী সিকিমরাজ্য হইতে নির্গত হইয়া অতিকায় সংকীর্ণ গিরিখাত দিয়া দক্ষিণ-দিকে দার্জিলিং জেলার মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইয়া তিস্তা নদীতে মিলিত হইয়াছে। ইহার গতিপথ ভারত ও ভুটান রাজ্যের মধ্যে সীমানা চিহ্নিত করে এবং ইহার ঢাল-অবক্রম (Slope gradient) এত বেশী যে এই প্রকল্প এলাকার মধ্যে নদীর দশ কিলোমিটার দীর্ঘ গতিপথে নদীবক্ষের

প্রায় 155 মিটার উচ্চতা হ্রাস পাইয়াছে। নদীপথ অত্যন্ত সংকীর্ণ ও খুব বেশী খাড়াইযুক্ত (Steep) হওয়ায় এই নদীর জলস্রোতের উপর নির্ভর করিয়া জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন করা হইতেছে কারণ এইরূপ খাড়াই ও সংকীর্ণ গিরিখাত দিয়া প্রবাহিত নদীর জল অবরুদ্ধ করিতে হইলে অতিশয় উচ্চ বাঁধ নির্মাণের প্রয়োজন। জলঢাকা প্রকল্পটি কয়েকটি পর্য্যায়ে সম্পূর্ণ করিবার ব্যবস্থা করা হইয়াছে। প্রথমে প্রায় 445 বর্গ কিলোমিটার আবহক্ষেত্রের মোটামুটি 155 মিটার শীর্ষ (Head) বিশিষ্ট নিঃস্রাবের (Run-off) সাহায্যে জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন করা হইতেছে। জলঢাকা ও Nichu Khola নামক একটি শাখানদীর সংযোগস্থলে 83 মিটার দীর্ঘ ও 24 মিটার উঁচু একটি গতি-পরিবর্ত্তনীয় বাঁধ (Diversion weir) নির্মাণ করিয়া নদীর জল কংক্রীটের আংশিক আচ্ছাদিত 914 মিটার দীর্ঘ জলনালী এবং 3353 মিটার দীর্ঘ পাতালিক সুড়ঙ্গের মধ্য দিয়া বিদ্যুৎ উৎপাদনকেন্দ্রে প্রবাহিত করাইয়া বিদ্যুৎশক্তি সঞ্চার করা হইতেছে। এই প্রকল্প সম্পূর্ণ হইলে ইহার উৎপাদনশক্তি 36,000 কিলোওয়াট হইবে।

এই প্রকল্প এলাকায় Dalings, Darjeeling Gneiss, Gondwanas (কয়লাবিশিষ্ট) এবং Siwaliks শিলাসংস্তরের উদ্‌ভেদ বিদ্যমান এবং এই সকল শিলাসংস্তর পর্বতোৎপত্তি প্রক্রিয়ার (Mountain building process) প্রভাবে সন্ধিপূর্ণ ও চ্যুতিপূর্ণ হইয়াছে। তবে পর্বের উৎক্রমতল বা চ্যুতিতল বরাবর কোনরূপ সাম্প্রতিক সঞ্চালনের নিদর্শন পাওয়া যায় নাই। এইসকল শিলাসংস্তরগুলির উপর বালু, মৃত্তিকা, উদ্‌ধাপল ও প্রায় নয় মিটার ব্যাসবিশিষ্ট সাল (Boulder) জমিয়া আছে এবং স্থানবিশেষে এইসকল অবক্ষেপ প্রায় 90 মিটার মোটা। প্রকল্প এলাকার স্থলাকৃতি এবং ভূতাত্ত্বিক বিশেষত্বের জন্য কারিগরী গঠনগুলির নির্মাণকার্য্যে বিশেষ যত্ন ও সাবধানতা অবলম্বন করা হইয়াছে। পাহাড়ের গাত্রে অসংবদ্ধ শিলাসমূহের উপস্থিতির জন্য সঙ্কটপূর্ণ ও ব্যয়সাধ্য দীর্ঘ পাতালিক সুড়ঙ্গপথ নির্মাণ করিতে হইয়াছে যদিও খোলা জলবাহী নালী নির্মাণ করিলে প্রকল্পের ব্যয় অনেক কম হইত। সুড়ঙ্গ নির্মাণের স্থানে অতিশয় ভাঁজবিশিষ্ট এবং যন্ত্রীপূর্ণ quartzite, gneiss এবং schist জাতীয় শিলাগুলির অবস্থানহেতু নির্মাণকার্য্যে প্রচুর বাধা-বিপত্তির সৃষ্টি হয়। সুড়ঙ্গপথে ইস্পাতের ঠেস ব্যবহার করিতে হইয়াছে, তাহা ছাড়া কংক্রীটের আস্তরণও গাঁথিয়া দেওয়া হইয়াছে। প্রতি বৎসরই বর্ষাকালে, বিশেষতঃ হঠাৎ প্রবল বর্ষণজনিত খাড়াই পর্বতগাত্র হইতে বিপজ্জনক

স্খলন হয় এবং ফলে এই কেন্দ্রের পরিগ্রহণক্ষেত্র (Intake area) স্খলিত প্রস্তরসমূহের দ্বারা অবরুদ্ধ হইয়া পড়ায় জলপ্রবাহের বিঘ্ন ঘটে ও বিদ্যুৎ-শক্তি উৎপাদন সাময়িকভাবে বন্ধ হইয়া যায়। নির্মাণকার্য্যের জন্য জলঢাকা ও নিকটবর্তী Murty নদীবক্ষের উপোপলসমূহ এই প্রকল্পে বিশেষভাবে ব্যবহৃত হইয়াছে। এই উপোপলের মধ্যে quartzite ও gneiss-এর শতকরা হার খুব বেশী এবং Murty নদীর উপোপলসমূহ গোলাকৃতি ও অবক্রান্ত (Graded) হওয়ায় অধিক পরিমাণে ব্যবহার করা হইয়াছে।

Kangsabati Project (পশ্চিমবঙ্গ)—এই প্রকল্পানুযায়ী বাঁকুড়া জেলার কংসাবতী ও কুমারী নদীর সংযোগের upstream দিকে প্রায় দশ কিলোমিটার দীর্ঘ একটি earth dam-এর নির্মাণকার্য্য সমাপ্তির মুখে উপস্থিত। ইহা দৈর্ঘ্যে earth dam সকলের মধ্যে দ্বিতীয় স্থান অধিকার করে। এই বাঁধটির উচ্চতা 55 মিটার এবং crest প্রায় 40 মিটার চওড়া। বাঁধের বামদিকে একটি খাঁজে (Saddle) spillway গঠন করা হইয়াছে। বাঁধটির মূলকেন্দ্র স্থানটি (Core) অতিমিহি মৃত্তিকার দ্বারা গঠিত হইয়াছে এবং দুইধারে নিশ্ছিদ্র উপাদান দিয়া সংবদ্ধ করা হইয়াছে। বাঁধের দুইদিক যাহাতে বিশরিত এবং ক্ষয়প্রাপ্ত না হয় সে কারণ rip rap দ্বারা আচ্ছাদন দেওয়া হইয়াছে। বাঁধের ভিত্তিস্থান বরাবর সন্ধিযুক্ত ও যন্ত্রীপূর্ণ sericite-phyllite ও greenish chlorite-phyllite শিলাসংস্তর বিদ্যমান এবং এইগুলি quartzo-felspathic শিলাধারা ব্যপ্ত (Impregnated)। শিলাসমূহ স্থানে স্থানে যথেষ্ট পরিমাণে বিশরিত ও ক্ষয়প্রাপ্ত হওয়ায় নির্মাণকার্য্যে সমস্যার সৃষ্টি করে। জলক্ষরণের প্রবণতা বেশী থাকায় নানারূপ প্রতিরোধ ব্যবস্থা অবলম্বন করা হইয়াছে। শিলাসংস্তরগুলির পত্রায়ণের মধ্য দিয়া জলক্ষরণ হইতে থাকায় বাঁধের heel-এ cut-off wall নির্মাণ এবং grouting করিয়া এই বিপত্তি দূর করা হইয়াছে। এই প্রকল্পটি মুখ্যতঃ জলসেচ ব্যবস্থার জন্য করা হইয়াছে যাহাতে বাঁকুড়া, পুরুলিয়া ও মেদিনীপুর এই জেলা তিনটিতে কৃষিকার্য্যের উন্নতিসাধন হইতে পারে এবং সেই উদ্দেশ্যে Silabati, Tarapheni ও Bhairabbanki এই তিনটি barrage বাঁধের সংশ্লিষ্ট অঙ্গ হিসাবে নির্মাণ করা হইয়াছে। সেচের সুবিধা বিস্তৃত এলাকায় পরিবেশন করিবার জন্য প্রায় 3000 কিলোমিটার দীর্ঘ খাল তৈয়ার করা হইয়াছে।

Mayurakshi Project (পশ্চিমবঙ্গ)—এই প্রকল্পটি Mor প্রকল্প নামে পরিচিত এবং প্রধানতঃ জলসেচ ব্যবস্থার জন্য করা হইয়াছে।

অবশ্য এই সঙ্গে 4000 কিলোওয়াট জলবিদ্যুৎ শক্তির উৎপাদনের ব্যবস্থাও করা হইয়াছে। ময়ূরাক্ষী নদীর উপর মেসাঞ্জোরে 47·24 মিটার উঁচু এবং 640 মিটার দীর্ঘ এই বাঁধটি 1955 খ্রীষ্টাব্দে নির্মিত হয়। ইহা Canada Dam নামে অভিহিত। এই বাঁধটির জলাধার হইতে নিকটস্থ বিহার প্রদেশের সাঁওতাল পরগণা জেলার বেশ কিছু জমিতেও জলসেচের ব্যবস্থা করা হইয়াছে। পশ্চিমবঙ্গে বীরভূম ও মুর্শিদাবাদ এই দুইটি জেলাতে সেচের সুবিধার জন্য এই বাঁধের জলকে বীরভূম জেলার সিউড়ির নিকট তিলপাড়া Barrage নির্মাণ করিয়া ও সেই barrage হইতে খাল কাটিয়া সেচের জন্য বিস্তৃত এলাকায় লইয়া যাওয়া হইতেছে। বাঁধটির নির্মাণস্থানে আশে পাশে pre-Cambrian যুগের শিলাসংস্তর বিদ্যমান এবং কঠিন ও সংহত অবস্থার এই শিলাগুলির মধ্যে hypersthene-granite gneiss (যাহা Charnockite প্রস্তর বলিয়া সাধারণতঃ পরিচিত) আছে। শিলাসংস্তর এই স্থানে নির্মাণকার্যে বিশেষ কোন সমস্যার সৃষ্টি করে নাই এবং নির্মাণের প্রয়োজনীয় শিলাখণ্ড ও aggregate সমূহ নিকটেই সংগৃহীত হয়।

Farakka Barrage Project (পশ্চিমবঙ্গ)—এই barrage-টি পশ্চিমবঙ্গের মালদহ ও মুর্শিদাবাদ জেলার মধ্যভাগে এবং শেষোক্ত জেলার অন্তর্গত ফরাক্কাতে গঙ্গাবক্ষে নির্মিত হইয়াছে। ইহা পৃথিবীর দীর্ঘতম barrage এবং ইহার নির্মাণের মুখ্য উদ্দেশ্য ভাগীরথী নদীর জলপ্রবাহ বর্দ্ধিত করিয়া তাহার দ্বারা হুগলী নদীতে পলি জমা রোধ করা যাহাতে কলিকাতা বন্দরে নৌবহরের গমনাগমনের কোনরূপ প্রতিবন্ধক সৃষ্টি না হয়। এই প্রকল্পের অন্তর্ভুক্ত আর একটি barrage জঙ্গীপুরের নিকট ভাগীরথী নদীর উপর নির্মিত হইয়াছে। এই দুইটি barrage নদীবক্ষ হইতে প্রায় 15 মিটার উঁচু এবং দৈর্ঘ্যে ফরাক্কা ও জঙ্গীপুর barrage যথাক্রমে 2621 মিটার ও 183 মিটার। ফরাক্কা barrage-এর উপরে রেলপথ ও রাজপথ নির্মাণ করিয়া পশ্চিমবঙ্গের সহিত উত্তরবঙ্গ ও আসামের মধ্যে সুবিধাজনক যোগাযোগ স্থাপন হইয়াছে। তাহা ছাড়া বিহারে ও উত্তরপ্রদেশে যাতায়াতেরও সুবিধা হইয়াছে। পরিকল্পনানুযায়ী ফরাক্কা barrage হইতে 42·6 কিলোমিটার দীর্ঘ, 180 মিটার চওড়া এবং 7·6 মিটার গভীর একটি খাল গঙ্গানদীর দক্ষিণ তীর হইতে কাটিয়া barrage-এর জল নিষ্কাশন করিবার এবং উহা ভাগীরথীর নিম্নপথে মিলন ঘটাইবার ব্যবস্থা করা হইয়াছে। এই খাল দিয়া এবং জঙ্গীপুর barrage-

ও ফরাক্কা barrage-এর মধ্য দিয়া নৌপথে যাতায়াতেরও সুবিধা হইবে। এই দুইটি barrage গাঙ্গেয় পলিমাটির উপর নির্মাণ করা হইয়াছে। এই পলিমাটির মধ্যে clay জাতীয় মৃত্তিকা এবং অতিমিহি ও মোটা বালুকণা আছে। পলিমাটির স্তর এই স্থানে প্রায় 35 মিটার মোটা তবে upstream দিকে ইহা মাত্র 14 মিটার গভীর। গঙ্গার পূর্ব ও পশ্চিম তীরে এই স্থানে ভূ-কম্পীয় (Seismic) প্রথায় অনুসন্ধান কার্য্যের দ্বারা জানা গিয়াছে যে যথাক্রমে 220 এবং 150 মিটার তলায় trap জাতীয় শিলা আছে। এই দুইটি barrage-ই কংক্রীটের নির্মিত এবং প্রয়োজনীয় coarse aggregate হিসাবে Rajmahal Trap ব্যবহৃত হইয়াছে।

Badua Dam (বিহার)—বিহার প্রদেশের ভাগলপুর জেলার Bijikharwa নামক স্থানে Badua নদীর উপর 43 মিটার উঁচু এই বাঁধটির chute spillway ইহার বিশেষত্ব। একটি সংকীর্ণ খাতে (Gorge) এই বাঁধটি নির্মিত হইয়াছে। এই খাতটির প্রস্থ 148 মিটার ও পাহাড়গুলি নাতি উর্ধ্ব এবং শিলাসংস্তরের অনুদৈর্ঘ্যের দিকে বিস্তৃত। এই প্রকল্পটি বাঁধের দুইপাশ দিয়া সেচ খালের সাহায্যে জল সেচের সুবিধার জন্য করা হইয়াছে। বাঁধটির নির্মাণ স্থানে এবং আশে পাশে আর্কীয় (Archaean) শিলাসংস্তর আছে। এইগুলি রূপান্তরিত শিলা এবং ইহাদের মধ্যে quartzite সর্বাপেক্ষা কঠিন হওয়ায় অবিশরিত অবস্থায় লম্বা ও খাড়া পাহাড় (Ridge) রূপ ধরিয়া আছে। ইহাদের দুইপাশের অবনমিত স্থানগুলি (Depressions) gneiss ও schist জাতীয় পাথরের চূর্ণীভূত ও মৃত্তিকায় পরিণত বস্তু দ্বারা পরিপূর্ণ। সাধারণতঃ বাঁধের spillway ইহারই অঙ্গ হিসাবে নদীবক্ষেই নির্মাণ করা হয়। কিন্তু Badua Dam-এর বিশেষত্ব এই যে নদীবক্ষে spillway গাঁথিবার উপযুক্ত ভিত্তি না থাকায় উহা বাঁধের দক্ষিণ abutment-এর একটি খাজে chute spillway হিসাবে নির্মাণ করা হইয়াছে। এই স্থানের স্থলাকৃতি ও ভিত্তিস্থানের শিলাসংস্তরের গুণাগুণ বিশ্লেষণ করিয়া এই chute spillway নির্মাণই যুক্তিযুক্ত বিবেচিত হইয়াছে। তবে এই ধরণের spillway নির্মাণ করায় বন্যার জল নিঃস্রাবের জন্য weir বাঁধার প্রয়োজন হইয়াছে। মূল weir-টি একটি quartzite-এর বিস্তরের (Band) উপর এবং সহকারী দ্বিতীয় weir-টি gneissic বিস্তরের উপর গাঁথা হইয়াছে। 'Chute' এবং 'Stilling basin' উপরোক্ত দুইটি

weir-এর মাঝে নির্মাণ করা হইয়াছে। এই দুইটি weir-এর নির্মাণ স্থানে কঠিন শিলাসংস্তর আছে। Chute-টির নির্মাণস্থানে নরম ও বিশরিত শিলা থাকায় উহার দৈর্ঘ্য ও ঢাল সেই অনুপাতে স্থির করা হইয়াছে। Chute-এর ঢালের অনুপাত 1 : 5 হওয়ায় ইহার design-এ কয়েকটি নিরাপত্তা ব্যবস্থা অবলম্বন করা হইয়াছে যাহাতে chute-টির বাঁধন ঠিকমত হয়, কোনরূপ উর্ধ্বচাপের সৃষ্টি না হয় এবং জলক্ষরণ নিয়ন্ত্রাধীনে থাকে। Chute-টির দুইপাশে ধারকপ্রাচীর (Retaining wall) subsidiary weir হইতে উপরদিকে কঠিন quartzite-এর বিস্তর অবধি গাঁথিয়া দেওয়া হইয়াছে। Chute-এর নিম্নদেশে কোনরূপ কঠিন শিলা-সংস্তর না থাকায় আড়াআড়ি দিকে তিন মিটার গভীর cut-off দেওয়াল গাঁথিয়া বাঁধন দেওয়া হইয়াছে। এই দেওয়াল chute-এর downstream দিকের অংশের ভারবহন করিবে। Chute-এর upstream দিকের অংশটি কঠিন quartzite শিলাসংস্তরের সহিত গাঁথনির বন্ধন দ্বারা একক শিলায় (Monolith) পরিণত হইয়াছে। Abutment-এর সহিত ধারক প্রাচীরের মধ্যবর্তী শূন্যস্থান অবক্রান্ত (Graded) পাথর দিয়া পূরণ করিয়া দেওয়া হইয়াছে এবং ঐ স্থানের নিম্নদেশে আস্তরযুক্ত নালা গাঁথিয়া দেওয়া হইয়াছে যাহাতে কোনরূপ ক্ষরণজনিত জল এবং বৃষ্টির জল সহজে প্রবাহিত হইতে পারে। Chute spillway-টির তলদেশে এবং weir-গুলির ভিত্তিস্থানে বিশরিত এবং মৃত্তিকায় পরিণত শিলাসংস্তরগুলি যথারীতি grouting-এর দ্বারা সুসংবদ্ধ করা হইয়াছে।

Kosi Barrage Project (বিহার)—Kosi নদী ভারতের উত্তরে পর্বতমালা হইতে নির্গত বৃহৎ নদীগুলির মধ্যে তৃতীয় স্থান অধিকার করে। প্রতি বৎসরই ইহার বন্যার কবলে বিহার এবং নেপালের বিস্তৃত অংশ প্রভূত ক্ষতিগ্রস্ত হয় এবং বহু প্রাণহানি ঘটে। ইহার নিবারণকল্পে বাঁধনির্মাণের পরিকল্পনা প্রথমে করা হয় এবং স্থির হয় যে ইহার শাখা নদীগুলির উপর পৃথক পৃথক বাঁধ নির্মাণ অথবা Kosi নদীর উপর (Sun Kosi, Arun এবং Tamur এই তিনটি শাখা নদীর সঙ্গমস্থলের নিম্নদিকে) 227 মিটার উঁচু একটি বাঁধ নির্মাণ করিয়া ইহার ধ্বংস লীলার অবসান ঘটান হইবে। কিন্তু এই স্থানটি Chatra-র (নেপাল) upstream দিকে হওয়ায় বাঁধ নির্মাণ করিলে বরাহক্ষেত্র মন্দিরটি চিরতরে জলমগ্ন হইয়া যাইবে। এই কারণে ঐ স্থানটি বিবেচিত হয় নাই। তাহা ছাড়া অত উঁচ বাঁধের নির্মাণের উপযুক্ত শিলাসংস্তর বিশিষ্ট ভিত্তিস্থানের

অনুপস্থিতির জন্য এবং নিকটেই চ্যুতিতল থাকায় ভূকম্পনহেতু স্থিতিশীলতার বিশেষ বিঘ্ন ঘটিবার আশঙ্কার হেতু বাঁধ নির্মাণের পরিকল্পনা বর্জন করা হয়। শেষে এই barrage নির্মাণের পরিকল্পনা করা হয় এবং ইহা তিনটি ভাগে কার্য্যকরী করা হয় যথা নেপালরাজ্যের অন্তর্ভুক্ত হনুমাননগর নামক স্থানে barrage ও তাহার সংশ্লিষ্ট গঠনগুলির নির্মাণ; প্রায় 240 কিলোমিটার দীর্ঘ বন্যাপ্রতিরোধকারী বাঁধসকল (Flood embankments) ও আনুষঙ্গিক গঠনসমূহের নির্মাণ এবং Eastern Kosi Canal System এর খাল খনন। Flood embankments-গুলি 1959 খ্রীষ্টাব্দে নির্মাণ করা হয় এবং barrage ও headworks এবং সেই সাথে barrage-এর উপর দিয়া রাজপথটির 1963 খ্রীষ্টাব্দে নির্মাণকার্য্য শেষ হয়। Kosi জল-বিদ্যুৎ শক্তি উৎপাদন কেন্দ্রটি Eastern Kosi Canal-এ স্থাপনা করা হইয়াছে এবং ইহার উৎপাদন ক্ষমতা 20,000 কিলোওয়াট যাহা বিহার ও নেপালের মধ্যে সমান ভাগে বণ্টনের ব্যবস্থা করা হইয়াছে। Western Kosi Canal ও Rajpur Canal এই দুইটি খালও ঐ barrage হইতে জল সরবরাহের জন্য নির্মাণ করা হইয়াছে।

Gandak Barrage Project (বিহার)—এই প্রকল্পানুযায়ী বিহারে গণ্ডক নদীর জলকে নিয়ন্ত্রাধীন করিয়া এবং জনহিতার্থে ঐ জলকে কাজে লাগাইবার উদ্দেশে বাল্মীকি নগরের কাছে নদীর উপরে 747·37 মিটার দীর্ঘ একটি barrage নির্মাণ করা হইয়াছে এবং এই barrage-এর উপর দিয়া নদী পার হইবার জন্য রাস্তা করা হইয়াছে। Barrage হইতে জল সেচের সুবিধার জন্য ইহার পূর্ব ও পশ্চিম দিকে দুইটি বড় খাল তৈয়ারী করা হইয়াছে এবং এইগুলি হইতে আবার ছোট ছোট খালের সাহায্যে বহু দূরে জল সেচের ব্যবস্থা করা হইয়াছে। যদিও barrage-টি বিহারে অবস্থিত, কিন্তু ইহার জল সেচের কাজে পশ্চিম দিকের খাল দ্বারা বিহারের ছাপরা জেলা, উত্তর প্রদেশের গোরক্ষপুর এবং দেওড়িয়া জেলা দুইটির ও নেপালের ভৈরওয়া (Bhairwa) জেলায় বিস্তৃত এলাকায় লইয়া যাওয়া হইয়াছে। পূর্ব দিকের খালটির জল বিহারের চম্পারণ, মজঃফরপুর ও দ্বারভাঙ্গা জেলাগুলিতে এবং নেপালের রানটুহাট জেলায় সেচের কাজে খুবই সহায়ক হইয়াছে। সেচের কাজ ছাড়াও পশ্চিম দিকের খালের 14th কিলোমিটারে নেপাল রাজ্যের সীমানার মধ্যে একটি 15,000 কিলোওয়াট শক্তি সম্পন্ন জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন কেন্দ্র স্থাপনা করা হইয়াছে।

Hirakud Dam Project (উড়িষ্যা)—উড়িষ্যার সম্বলপুর জেলার হীরাকুদে মহানদীর উপরে এই বহুমুখী বাঁধ নির্মাণের পরিকল্পনা করা হয়। এই পরিকল্পনার মধ্যেও বন্যানিয়ন্ত্রণ মুখ্য স্থান অধিকার করে। প্রায় প্রতি বৎসরই কটক সহর এবং সংলগ্ন গ্রামসমূহ বন্যার কবলে নিপীড়িত হইত এবং বহু গৃহ, প্রাণী ও শস্যের হানি হইত। এই সকলের স্থায়ী নিবারণকল্পে এবং তৎসহ সেচের ব্যবস্থা, জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের দ্বারা শিল্পোন্নতি সাধন ও মৎস্য চাষ প্রভৃতি বিষয়গুলি এই বাঁধ নির্মাণের প্রকল্পের অন্তর্ভুক্ত করা হয়।

4801 মিটার দীর্ঘ হীরাকুদ বাঁধটি সম্ভবতঃ পৃথিবীর দীর্ঘতম বাঁধ এবং ইহার জলাধারটি (Reservoir) এশিয়ার মধ্যে সর্বাপেক্ষা বৃহৎ। যে স্থানটিতে এই বাঁধ তৈয়ার হইয়াছে সেখানকার উচ্চাবচন (Relief) নিম্নমানের এবং প্রায় সমতল। এই কারণে বাঁধের দুই পাশে সর্ব মোট প্রায় 52 কিলোমিটার দীর্ঘ মাটির dyke নির্মাণ করিতে হইয়াছে। এইগুলি উচ্চতায় কম এবং জলাধারটিকে যে সকল পাহাড় ঘিরিয়া আছে তাহাদের ফাঁকগুলি এই dyke-এর দ্বারা পূরণ করিয়া দেওয়া হইয়াছে। বাঁধের দক্ষিণ দিকের dyke-গুলির মধ্যে একটির সর্বাধিক দৈর্ঘ্য প্রায় 10·6 কিলোমিটার। বামদিকের dyke পাহাড়গুলির মধ্যে পাঁচটি খোলা জায়গা ঘিরিয়া দিয়াছে এবং ইহার সর্ব মোট দৈর্ঘ্য প্রায় 9·7 কিলোমিটার। হীরাকুদ বাঁধের মূল অংশটি প্রায় পাঁচ কিলোমিটার দীর্ঘ, তন্মধ্যে 1·2 কিলোমিটার অংশ কংক্রীটের তৈয়ারী এবং বাকী অংশ rolled earth এবং rock-fill ধরণের। বাঁধের বামদিকের earth dam অংশটির নদী বক্ষের গভীরতম স্থান হইতে সর্বাধিক উচ্চতা 59 মিটার এবং দক্ষিণ দিকে কংক্রীটের power-dam অংশটি উহার ভিত্তিস্থানের লেভেল হইতে 60·6 মিটার উঁচু। এই বাঁধের জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন ক্ষমতা প্রথম পর্য্যায়ে 123·2 মেগাওয়াট ছিল। পরে Chiplima-তে এবং হীরাকুদে উৎপাদন ক্ষমতা বৃদ্ধি করিয়া সর্বমোট বিদ্যুৎ উৎপাদন শক্তি 270·2 মেগাওয়াট হয়। হীরাকুদ বাঁধের নির্মাণ স্থানে নদীবক্ষ খুব বিস্তৃত হওয়ায় এবং দুইটি প্রশস্ত চড়া থাকায় বাঁধ নির্মাণকালে জলপ্রবাহের গতিপরিবর্তনের সুবিধা হইয়াছিল।

বাঁধের অক্ষপথে বাম পার্শ্বে ও নদীবক্ষে granitoid biotite-gneiss ও schist জাতীয় শিলা বিদ্যমান। দক্ষিণপার্শ্বে Cuddapah যুগের arkose, শেল, শ্লেট ও কোয়ার্টজাইট শিলাসংস্তর আছে।

সুতরাং ভিত্তিস্থানে এতগুলি বিভিন্ন জাতীয় শিলার সমাবেশ এবং তাহাও চ্যুতিচূর্ণ এই বিশেষত্ব লইয়া হীরাকুদ বাঁধ নির্মাণ হইয়াছে। Gneiss-গুলির পত্রায়ণ বাঁধের অক্ষপথের সহিত লম্বভাবে আছে এবং এই পত্রায়ণের নতি দক্ষিণপাড়ের দিকে ও উহার মান 70° হইতে 80°। Cuddapah যুগের শিলাগুলি অভিনতভাবে (Synclinally) ভাঁজবিশিষ্ট এবং gneiss ও Cuddapah যুগের শিলাসংস্তর সমূহের সংযোগস্থল চ্যুতিপূর্ণ। এই বাঁধের spillway গঠনের জন্য নদীবক্ষে প্রায় 12 হইতে 17 মিটার অবধি গভীর খননকার্য্য করা হয়, কারণ নদীর বামদিকে পাড়ের কাছে schist জাতীয় শিলার বিস্তরের (Bands) কয়েকটি নদীবক্ষের বেশ গভীর তলদেশ অবধি বিশরিত এবং ক্ষয়প্রাপ্ত অবস্থায় ছিল। তাহা ছাড়া spillway-র বামদিকে ভিত্তিস্থানে প্রায় ছয় মিটার প্রস্থের একটি যন্ত্রীমণ্ডল শিলাসমূহের পত্রায়ণের সহিত সমান্তরাল অবস্থায় ছিল। সুতরাং এই স্থানগুলিতে বেশ গভীর তলদেশ অবধি খননকার্য্য চালাইয়া কঠিন ও অক্ষত শিলার উপরে ভিত্তিস্থাপন করা হয়। নদীর দক্ষিণ তীরের কাছেও একটি চ্যুতিমণ্ডল দেখা যায় এবং এইস্থানে বেশ মোটা একটি clay জাতীয় আকর সন্নিহিত স্তরের (Gouge) উপস্থিতির জন্য প্রায় তিন মিটার গভীর পরিখা (Trench) খনন করা হয় ও upstream দিকেও 5.5 মিটার গভীর তলদেশ অবধি খনন করিয়া একটি cut-off shaft নির্মাণ করা হয়। এ ছাড়াও ঐ চ্যুতিমণ্ডলের উপরে upstream দিকে প্রায় 90 মিটার দীর্ঘ এলাকার উপরে clay মৃত্তিকার আস্তরণী দেওয়া হয় যাহাতে জলক্ষরণের বিপত্তি দূরীভূত হয়। এই বাঁধের earth dam অংশের ভিত্তিস্থানে প্রায় 4.5 মিটার গভীর একটি cut-off পরিখা খনন করিয়া ঐ পরিখার তলদেশ হইতে আরও 9 হইতে 15 মিটার গভীর curtain নির্মাণ করা হইয়াছে যাহাতে বাঁধের ভিত্তিস্থানের গভীর তলদেশ দিয়া কোনরূপ জলক্ষরণের সম্ভাবনা না থাকে। হীরাকুদ বাঁধের আশেপাশে বিদ্যমান gneiss প্রস্তরসমূহ বাঁধের নির্মাণে ব্যবহৃত হইয়াছে এবং নিকটস্থ Talabira clay এই স্থানে pozzolan হিসাবে ব্যবহার করা হইয়াছে। হীরাকুদ বাঁধের মূল অংশটি নির্মাণ করিতে প্রায় 24 million ঘন (Cubic) গজ মৃত্তিকা ব্যবহার হইয়াছে। এই পরিমাণ Bhakra Dam নির্মাণে যে কংক্রীট ব্যবহার হইয়াছে তাহার প্রায় পাঁচগুণ।

Balimela Dam Project (উড়িষ্যা)—Balimela বাঁধটি উড়িষ্যার কোরাপুট জেলার পূর্বঘাট (Eastern Ghats) পর্বতমালার উত্তর-পশ্চিমে

অবস্থিত। প্রকল্পটি জলসেচ এবং বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন এই দুই প্রধান উদ্দেশ্যে করা হয়। বাঁধটি Sileru নদীর উপর নির্মাণ হইয়াছে। Sileru নদী অন্ধ্র ও উড়িষ্যা এই দুই রাজ্যের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হওয়ায় এই বাঁধের জল দুইটি রাজ্যেরই ব্যবহারে নিয়োজিত হইয়াছে। চিত্রকোণ্ডা গ্রামের নিকট Sileru নদীর উপর 68 মিটার উঁচু ও 1821 মিটার দীর্ঘ এই earth dam-টির জলাধারের জলের উড়িষ্যার অংশ Potteru-vagu উপত্যকা দিয়া প্রবাহিত করাইবার ব্যবস্থা করা হইয়াছে এবং ইহার দ্বারা উড়িষ্যা রাজ্যের প্রায় 97,124 hectares জমির সেচের সুবিধা হইবে এবং কালক্রমে 480 মেগাওয়াট বৈদ্যুতিক শক্তি উৎপাদন করা সম্ভব হইবে। বাঁধটির জলাধারে জল সঞ্চয়ের জন্য 800 হইতে 900 মিটার দীর্ঘ এবং 27 হইতে 41 মিটার উঁচু চারিটি earth dyke জলাধারের দক্ষিণভাগে নির্মাণ করিতে হইয়াছে। Spillway-টি কংক্রীটের এবং দৈর্ঘ্যে 250 মিটার ও উচ্চতায় 23 মিটার। ইহা একটি খাঁজে (Saddle) নির্মিত হইয়াছে।

Balimela প্রকল্পের এলাকায় Charnockite, Khondalite এবং biotite-gneiss জাতীয় শিলাসমূহ বিস্তৃতভাবে দেখা যায়। এই শিলা-সংস্তরগুলির পত্রায়ণ N.E.—S.W. দিকে এবং পত্রায়ণতলগুলি S.E. দিকে 35° হইতে 60° ডিগ্রী অবধি নতি দেখায়। Charnockite এবং Khondalite শিলাসংস্তরগুলির সংযোগস্থল ক্রমপরিবর্তনভাবের (Transi-tional) এবং ইহা Sileru নদীপথ বরাবর দৃষ্ট হয়। কিন্তু Charno-ckite ও biotite-gneiss-এর সংযোগস্থল আকুঞ্চন (Buckling) ও বক্রীচাপের দ্বারা প্রভাবান্বিত হওয়ার নিদর্শন পাওয়া যায়। কয়েকটি অপেক্ষাকৃত ছোট বক্রীমণ্ডল শিলাসংস্তরের পত্রায়ণের সহিত সমান্তরালভাবে বিদ্যমান। বাঁধটির অক্ষপথে Sileru নদীর বামতীরে Khondalitic শিলাগুলি প্রায় 55 মিটার গভীর তলদেশ অবধি ক্ষয়প্রাপ্ত ও বিশরিত হইয়াছে। Spillway-টি নদীর দক্ষিণ তীরে Charnockite শিলাসংস্তরের উপর একটি খাঁজে নির্মিত হইয়াছে, কিন্তু এইস্থানে শিলাগুলি প্রায় 26 মিটার গভীর তলদেশ অবধি বিশরিত ও ক্ষয়প্রাপ্ত অবস্থায় ছিল। Sileru নদীবক্ষে কঠিন শিলাসংস্তর 5 হইতে 12 মিটার তলায় বিদ্যমান। জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের গৃহটি Charnockite শিলার উপরে গঠিত হইয়াছে। Balimela penstock এবং tail-race প্রণালীর গঠন biotite-gneiss-এর উপরে করা হইয়াছে। আর বিদ্যুৎ উৎপাদনের

জন্য জলবাহী সুড়ঙ্গটির বেশীর ভাগ Charnockite শিলার মধ্য দিয়া নির্মিত হইয়াছে এবং এই জাতীয় শিলা অক্ষত অবস্থায় থাকার জন্য সুড়ঙ্গ নির্মাণকালে ছাদের দিকে খুব বেশী প্রস্তর কাটিয়া অপসারণের প্রয়োজন হয় নাই। প্রধান earth dam-টি নির্মাণকালে উহার যে অংশ Khondalitic শিলার উপর গঠিত তাহা বিশরিত এবং ক্ষয়প্রাপ্ত অবস্থায় থাকার জন্য উহার তলদেশে প্রায় 12 মিটার গভীর জায়গা অবধি 'cut-off trench' গঠন করা হইয়াছে এবং Sileru নদীর দুইতীরে বাঁধের অক্ষরেক্ষা বরাবর 15 মিটার গভীর grout curtain নির্মাণ করা হইয়াছে যাহাতে জলাধার হইতে ক্ষরণের কোন সম্ভাবনা না থাকে।

Rihand Dam Project (উত্তরপ্রদেশ)—এই প্রকল্পটি মূলতঃ 240 মেগাওয়াট জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের জন্য করা হয় যাহাতে উত্তর-প্রদেশে শিল্পোন্নতির সুবিধা হয়। ইহা ছাড়াও এই প্রকল্প দ্বারা Sone নদীর গতিপথের নিচের দিকে বিহার প্রদেশে প্রায় দুইলক্ষ hectare জমিতে সেচের প্রয়োজনে জলের নিয়ন্ত্রণ করাও একটি উদ্দেশ্য ছিল। মির্জ্জাপুর জেলার Pipri গ্রামের নিকটে Sone নদীর শাখা Rihand নদীর উপরে 91 মিটার উঁচু এই gravity কংক্রীট বাঁধটি নির্মিত হইয়াছে। Singrauli কয়লাখনি অঞ্চল এবং Pipri-র নিকট Corundum নামক খনিজ পদার্থের অবক্ষেপ যাহাতে এই বাঁধের জলাধারে নিমজ্জিত না হয় সেই কারণে বাঁধের উচ্চতা সীমিত রাখিতে হইয়াছিল। বাঁধটি 934 মিটার লম্বা এবং 64 খণ্ডে (Blocks) নির্মিত। এই খণ্ডগুলির সংযোগ-স্থলে grouting করা হয় নাই। ইহার spillway-টি 190 মিটার লম্বা এবং জলাধারের বিস্তৃতি প্রায় 566 বর্গ কিলোমিটার। বিদ্যুৎ উৎপাদন গৃহটি বাঁধের 28 হইতে 33 সংখ্যার খণ্ডের পাদদেশে অবস্থিত। ইহাতে পাঁচটি বিদ্যুৎ উৎপাদক যন্ত্র আছে, প্রতিটি 50 মেগাওয়াট বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন করিতে সক্ষম। ভবিষ্যতে প্রয়োজন হইলে উৎপাদন ক্ষমতা দ্বিগুণ করিবার সংস্থান রাখা হইয়াছে। বাঁধের নির্মাণস্থানে ও আশেপাশে সাধারণতঃ granite, injection gneiss, phyllites, schists এবং quartzite জাতীয় শিলাসংস্তর আছে। Gneissose granite শিলাসমূহ সন্ধি বিশিষ্ট হওয়ায় এইগুলি অপেক্ষাকৃত গভীর তলদেশ অবধি বিশরিত ও ক্ষয়প্রাপ্ত হইয়াছে। নদীর দক্ষিণতীরে এই শিলাসংস্তর প্রায় 26 মিটার তলদেশ অবধি ক্ষয়প্রাপ্ত অবস্থায় পাওয়া যায়। অবশ্য নদীবক্ষে spillway নির্মাণের স্থানে শিলাগুলি এক হইতে ছয় মিটার তলদেশ অবধি

বিশরিত এবং ক্ষয়প্রাপ্ত দেখা গেছে। Spillway-টি 34 হইতে 46 খণ্ড অবধি বিস্তৃত এবং gneissose granite এই জায়গার প্রধান শিলাসংস্তর হইলেও কতকগুলি phyllite ও schist-এর ছোট ছোট সঞ্চয়িকা (Pocket) আছে এবং এইগুলি অতিরিক্ত ক্ষয়প্রাপ্ত অবস্থায় থাকায় জলক্ষরণের আশঙ্কা বিশেষভাবে উপলব্ধি করা হয়। তাহা ছাড়া বাঁধের দৈর্ঘ্য বরাবর কয়েকটি যন্ত্রীমণ্ডলও আছে। ঐ সকল দুর্বল স্থানগুলিকে এবং বিশরিত ও ক্ষয়প্রাপ্ত শিলাসংস্তরগুলিকে ভিত্তিস্থানে grouting দ্বারা সুসংবদ্ধ করা হইয়াছে যাহাতে ভারবহন শক্তি পর্য্যাপ্ত হয় ও জলক্ষরণের কোনরূপ আশঙ্কা না থাকে। এই বাঁধ নির্মাণের প্রয়োজনীয় coarse aggregate উপাদান নদীবক্ষে নিকটে না থাকায় granite ও quartzite-এর নিকটস্থ পাহাড়গুলিতে খনন করিয়া ঐ উপাদান সংগ্রহ করা হয়। Fine aggregate হিসাবে Rihand নদী হইতে বালু এবং granite চূর্ণ ব্যবহার করা হয়।

Obra Dam Project (উত্তরপ্রদেশ)—Rihand বাঁধ হইতে জলবিদ্যুৎ শক্তি উৎপাদনের পর যে অবমুক্ত (Released) জলপ্রবাহ (Tailrace discharge) downstream দিকে Rihand নদীতে বহিতে থাকে তাহাকে পুনরায় বাঁধের সাহায্যে অবরুদ্ধ করিয়া অতিরিক্ত 100 মেগাওয়াট বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের জন্য এই প্রকল্পটি করা হয়। এই বাঁধের জলাধারের পূর্বদিকে নিকটেই একটি 650 মেগাওয়াট বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের জন্য তাপবিদুৎকেন্দ্র নির্মিত হইয়াছে এবং এই কেন্দ্রের প্রয়োজনীয় জল Obra বাঁধের জলাধার হইতে সরবরাহের ব্যবস্থা করা হইয়াছে। এই বাঁধটি Rihand বাঁধের প্রায় 32 কিলোমিটার downstream দিকে নির্মাণ করা হইয়াছে। ইহা প্রায় 30 মিটার উঁচু এবং ইহার দক্ষিণ-দিকে কংক্রীটের spillway এবং বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের অংশটি অবস্থিত। নদীবক্ষের উপর বাঁধের অংশটি earth এবং rock-fill প্রকারের এবং এই অংশের জন্য একটি 24 মিটারের অধিক মোটা কংক্রীটের cut-off পর্দা নির্মাণ করা হইয়াছে যাহা নিম্নদিকে বালুস্তর ভেদ করিয়া শিলাস্তরে প্রবেশ করিয়াছে। এই বাঁধের উপরোক্ত earth ও rock-fill অংশ এবং কংক্রীটের spillway ও বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের অংশ ছাড়াও দুইদিকে বিস্তৃত মাটির dyke ইহার অবিচ্ছেদ্য অঙ্গ। বাঁধের কল্পিত নির্মাণের স্থানে কন্দরবিশিষ্ট (Cavernous) Vindhyan যুগের চূণাপাথর এবং অঙ্গারময় (Carbonaceous) শেলের শিলাস্তর বিদ্যমান। Vindhyan

যুগের এই শিলাস্তরগুলি অভিনতরূপে (Synclinally) ভাঁজবিশিষ্ট এবং দক্ষিণে Son নদীর দিকে এই অভিনতির (Syncline) অবগাহ (Plunge) দেখা যায়। বাঁধের upstream দিকে Vindhyan যুগের এই শিলাস্তরগুলির ও Bijawar যুগের শিলাস্তর সমূহের সংযোগস্থল চ্যুত (Faulted) অবস্থায় আছে। Obra বাঁধ নির্মাণে ঐ স্থানে কন্দরবিশিষ্ট চুণাপাথর এবং নদীবক্ষে পারগম্য (Pervious) বালুর অতি পুরু অবখাত (Overburden) গুরুতর সমস্যার সৃষ্টি করে, কারণ ইহাদের মধ্য দিয়া জলাধার হইতে ক্ষরণের প্রবণতা খুব বেশী হওয়া সম্ভব। সেই কারণে এই স্থানটিতে বিশদরূপে ভূছিদ্র করিয়া পাতালিক অনুসন্ধান কার্য্য চালান হয় এবং প্রথমে স্থিরীকৃত বাঁধ নির্মাণের স্থানটির ভূতলে চুণাপাথরের স্তরগুলি অতিরিক্ত কন্দরবিশিষ্ট হওয়ায় বাঁধের অক্ষরেখা পূর্বের স্থান হইতে প্রায় 360 মিটার downstream দিকে ধার্য্য হয় যেখানে ভিত্তিস্থানে প্রধানত: অঙ্গারময় শেলের স্তরগুলি পাতলা চুণাপাথরের স্তরসমূহের সহিত স্তরানুগ্রথিত (Interbeded) অবস্থায় বিদ্যমান। পাতালিক অনুসন্ধানে ইহাও প্রকাশ পায় যে সর্বশেষ ধার্য্য বাঁধের নির্মাণ স্থানের প্রায় 160 মিটার দূরে downstream দিকে নদীবক্ষে প্রায় 46 মিটার গভীর একটি সমাহিত (Buried) গিরিখাত (Gorge) আছে। নির্মাণ স্থানে নদীবক্ষে কয়েকটি শিলা উদ্‌ভেদ ব্যতিরেকে বাকী অংশ বালুকাবৃত। এই শিলাগুলির অনুদৈর্ঘ্য (Strike) বাঁধের অক্ষরেখার সহিত প্রায় সমান্তরাল এবং ইহাদের নতি upstream দিকে ও পরিমাণ 15° হইতে 20° ডিগ্রী। Spillway-র উপলরেখা (Apron) একটি আয়ামচ্যুতি (Strike fault) দ্বারা অতিক্রান্ত (Crossed) হইয়াছে এবং নদীর গতিপথের আড়াআড়ি আর একটি চ্যুতির উপস্থিতি সন্দেহ করা হয়। এই দুইটি সাংযুতিক (Structural) লক্ষণের বিশেষ সমীক্ষার প্রয়োজন হয়। এই সকল হানিকর অবস্থার দূরীকল্পে নদীবক্ষে earth dam-এর জন্য কংক্রীটের cut-off-টির অক্ষপথ সমাহিত গিরিখাত এবং চুণাপাথরের কন্দরগুলি হইতে যথা সম্ভব দূরে রাখা হইয়াছে এবং spillway, বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন গৃহ ও অনুবন্ধনীয় গঠনগুলির ভিত্তিস্থানে ক্ষয়প্রাপ্ত ও কন্দরবিশিষ্ট চুণাপাথরগুলির grouting দ্বারা যথাযথ সুসংবদ্ধ ও পূরণ করা হইয়াছে। Obra বাঁধের নির্মাণস্থানের ও আশে পাশের ভূতাত্ত্বিক গঠনবৈশিষ্ট্য, জলপীঠের বিন্যাস এবং কন্দরবিশিষ্ট চুণাপাথরগুলি বাঁধের জলাধার হইতে বিশেষত: দক্ষিণদিকের dyke বেষ্টিত এলাকা দিয়া

জলক্ষরণের বিশেষ সম্ভাবনার সূচনা করে এবং ঐ সকল বিপত্তি দূরীকরণের সকল সম্ভাব্য ব্যবস্থা গ্রহণ করা হইয়াছে।

Ramganga Project (**উত্তরপ্রদেশ**)—এই প্রকল্পানুযায়ী গাড়ওয়াল জেলার কালাগড়ের নিকটে Ramganga নদীর বক্ষে 126 মিটার উঁচু একটি earth dam এবং ইহার বামতীরে প্রায় দুই কিলোমিটার উত্তর-পশ্চিমে অবস্থিত একটি খাঁজে Chunisot শাখা নদীর উপরে একটি 60 মিটার উঁচু earth dam নির্মাণ করা হইয়াছে। বাঁধের বাড়তি জল নিষ্কাশনের জন্য দক্ষিণতীরে একটি chute spillway নির্মাণ করা হইয়াছে। এই বাঁধ নির্মাণের ভিত্তিস্থানে ও আশেপাশে Middle to Lower Siwalik যুগের বালুশিলা, শেল, claystone এবং siltstone জাতীয় শিলাসংস্তর বিদ্যমান। এই সকল শিলাস্তরগুলির নতি upstream দিকে এবং নতির মাত্রা 50° ; বালুশিলাগুলিতে শতকরা প্রায় 15 হইতে 20 ভাগ clay থাকাতে উহাদের প্রবেশ্যতার মান নিম্নদরের। Claystone শিলাগুলির সুঘটতা (Plasticity) বেশ উল্লেখযোগ্য এবং ইহাদের ও বালুশিলাস্তরগুলির ভারবহনের ক্ষমতা নিম্নমানের হওয়ায় পূর্বসিদ্ধান্তানুযায়ী rock-fill বাঁধের পরিবর্তে earth dam নির্মাণ করা হইয়াছে। বাঁধের নির্মাণস্থানের নিকটবর্তী এলাকায় কয়েকটি উৎক্রমতল (Thrust plane) আছে, তন্মধ্যে সর্বাপেক্ষা কাছাকাছি উৎক্রমতলটি বাঁধ হইতে তিন কিলোমিটার downstream দিকে অবস্থিত। এই বাঁধের সংশ্লিষ্ট গতি পরিবর্তনকারী ও পরিগ্রহণকারী সুড়ঙ্গগুলিতে clayshale শিলাসংস্তরের উপস্থিতি নির্মাণকার্যে বহুবিধ বিঘ্নের সৃষ্টি করিয়াছিল। এই সকল বিঘ্নের মধ্যে ঢালু স্থানগুলির ভাঙ্গিয়া পড়া এবং খননকার্যে মাপের অতিরিক্ত জমি ধ্বসিয়া পড়া বিশেষ উল্লেখযোগ্য। Berm নির্মাণ করিয়া এবং শিলাস্তরগুলির নতির বশে বাঁধের ঢাল ঠিক করিয়া ঐ সকল গাঠনিক অসুবিধা ও বিঘ্ন দূরীভূত করা সম্ভব হইয়াছে। শিলাসংস্তরগুলির অনুদৈর্ঘ্য এই স্থানের গিরিখাতের সহিত তির্যকভাবে থাকায় বাঁধের cut-off trench-টি বালশিলা ও claystone স্তরগুলির আড়াআড়ি দিকে নির্মাণ করা হইয়াছে এবং বালুশিলাস্তরবিশিষ্ট স্থানে এই cut-off অপেক্ষাকৃত বেশী গভীর তলদেশ অবধি গাঁথা হইয়াছে। এই সকল প্রতিষেধক ব্যবস্থা ছাড়াও কোনরূপ ক্ষতিকর রন্ধ্রচাপ সৃষ্টিকে বিক্ষিপ্ত করিয়া দেওয়ার উদ্দেশ্যে পরিবাহ (Drainage) কোষ্ঠের (Galleries) ব্যবস্থা করা হইয়াছে। Ramganga বাঁধের কেন্দ্রস্থল ও আভ্যন্তরীণ

অংশ এবং বহির্ভাগ গঠন কার্য্যের প্রয়োজনে খনন করা Middle Siwalik clayshales ও বালুশিলা জাতীয় উপাদানে নির্মিত হইয়াছে। তবে rip-rap হিসাবে ব্যবহারের জন্য বাঁধের নিকটস্থ Lower Siwalik বালুশিলা উপযুক্ত বিবেচিত হয় নাই, কারণ ইহার সংকোচন প্রতিরোধ শক্তি নিম্নমানের। সেইকারণে নিকটবর্তী বেদী (Terrace) গুলি হইতে উপযুক্ত উপকরণ সংগ্রহ করা হইয়াছে।

BHAKRA-NANGAL PROJECT (পাঞ্জাব)

বিংশ শতাব্দীর প্রথম দিকে পাঞ্জাবের তদানীন্তন লে: গভর্ণর Sir Lanis Dane শতদ্রু গিরিখাতের স্থলাকৃতি বিচার করিয়া ঐ নদীর উপর বাঁধ নির্মাণের দ্বারা যে বিরাট অবরুদ্ধ জলাধারের স্বপ্ন দেখিয়াছিলেন তাহা দেশ স্বাধীনতালাভের পর বাস্তবে পরিণত হইয়াছে। অবশ্য প্রাক্-স্বাধীনতাকাল হইতেই এই পরিকল্পনাটি সম্বন্ধে নানারূপ ভূতাত্ত্বিক ও কারিগরী সমীক্ষা করা হয় এবং প্রকল্পের নানারূপ রদ বদল করা হয়। পরিশেষে Bhakra ও Nangal এই দুইটি জায়গায় বাঁধ নির্মাণ করিয়া জলসেচের ও জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের ব্যবস্থা করা হইয়াছে।

Bhakra Dam—শতদ্রু নদীর উপর প্রায় 475 মিটার দীর্ঘ ও 226 মিটার উঁচু এই অবক্র (Straight) কংক্রীটের gravity বাঁধটি বর্তমান কালে পৃথিবীর সর্বাধিক উচু gravity বাঁধ। ইহার spillway-টি প্রায় 80 মিটার লম্বা ও জল নিষ্কাশনের দরজাগুলি বিচ্ছুরিত (Radial) অবস্থায় নির্মিত হইয়াছে। ইহার জলাধারের বিস্তৃতি প্রায় 153 বর্গ কিলোমিটার এবং শতদ্রু নদীর দুই তীরে এই বাঁধের পাদদেশে দুইটি পৃথক জলবিদ্যুৎ উৎপাদন কেন্দ্র আছে। ইহার প্রতিটিতে পাঁচটি বিদ্যুৎ-উৎপাদক যন্ত্র আছে এবং এই যন্ত্রগুলি প্রত্যেকে 90 মেগাওয়াট বিদ্যুৎ-শক্তি উৎপাদনে সমর্থ। এই যন্ত্রগুলির পরিচালনের জন্য বাঁধ হইতে প্রবাহিত জলের সর্বোচ্চ লেভেল (Head) 81·6 মিটার হইতে 156 মিটার পর্য্যন্ত স্থিরীকৃত হইয়াছে। Bhakra গিরিখাতে শতদ্রু নদীর সর্বনিম্ন লেভেলের আরও প্রায় 54·5 মিটার নীচে হইতে বাঁধের ভিত গঠন করা হইয়াছে। গিরিখাতের সঙ্কীর্ণতা এত বেশী যে বাঁধের সর্বনিম্নতলে উহার দৈর্ঘ্য মাত্র 91 মিটার। এই নিম্নতলে বাঁধের প্রস্থ প্রায় 203 মিটার, তাহা ছাড়া উহার heel এবং উপলরেখা (Apron) একত্রে 194 মিটার চওড়া।

Bhakra বাঁধের ভিত্তিস্থানে Lower Siwalik বালুশিলা বিদ্যমান। এই বালুশিলার সহিত siltstone, claystone এবং pseudo-conglomerate-এর স্তরসমূহ স্তরানুগ্রথিত (Interbedded) অবস্থায় আছে। এই স্তরগুলির নতি নদীর downstream দিকে এবং উহার মাত্রা 55° হইতে 70° ডিগ্রীর মধ্যে। বালুশিলা ও claystone-এর অনুপাত 3 : 1 এবং মূল বাঁধটি Ramgarh Dhar ঊর্ধ্বভঙ্গের (Anticline) একটি ভাঁজ বাহুর (Limb) উপরে গাঁথা হইয়াছে। এই অঞ্চলটি বিশেষভাবে অভিবিবর্তনিক (Tectonic) সঞ্চলনের দ্বারা প্রভাবান্বিত হইয়াছে এবং Bhakra গিরিখাতের প্রবেশ পথে Lower Siwalik শিলাস্তরগুলি উৎক্রমের (Thrust) জন্য Middle Siwalik শিলাস্তরসমূহের উপর অবস্থিত আছে। এই উৎক্রমজনিত প্রক্ষেপনের মাত্রা প্রায় 1500 মিটার তবে পাতালিক অনুসন্ধানের দ্বারা দেখা গেছে যে এই উৎক্রমতল বাঁধের প্রায় 330 মিটার নিম্নে অবস্থিত এবং বাঁধের ভিত্তিস্থানের বিভিন্ন অংশে তিনটি claystone-এর স্তর আছে। 'Heel Claystone' নামে পরিচিত একটি স্তরের উদ্ভেদ গিরিখাতের দুই পাশে বাঁধের ভিত্তিস্থান হইতে প্রায় 150 মিটার নীচে বিদ্যমান। Claystone-এর দ্বিতীয় স্তরটি প্রায় 76 মিটার চওড়া এবং বাঁধের পাদদেশে (Toe) spillway-র জায়গায়, বিদ্যুৎ উৎপাদন গৃহের স্থানে এবং tail-race-এর গঠনস্থানে ইহার উদ্ভেদ দেখা যায়। এই দুইটি ছাড়া আরও একটি 9 মিটার চওড়া claystone-এর স্তরের উদ্ভেদ বাঁধের ভিত্তিস্থানের মধ্য-তৃতীয়াংশে দেখা যায়। এই বাঁধের নির্মাণস্থানের ও আশেপাশের ভূতাত্ত্বিক অবস্থার সমীক্ষা করিয়া দেখা যায় যে বাঁধের স্থায়িত্বের বিঘ্নস্বরূপ কতকগুলি বিশেষ অবস্থা বিদ্যমান। সেগুলি যথাক্রমে (i) downstream দিকে 60° হইতে 70° ডিগ্রী নতি অবস্থায় সংস্তরায়ণে যন্ত্রীমণ্ডলের (Shear zone) অবস্থান ; (ii) downstream দিকে কোণাকুণীভাবে 45° হইতে 50° ডিগ্রী নতি অবস্থায় যন্ত্রীমণ্ডলের উপস্থিতি ; এবং (iii) downstream দিকে 15° হইতে 30° ডিগ্রী নতি অবস্থায় যন্ত্রীমণ্ডলের আড়াআড়ি (Cross) ভাবে অবস্থান। উপরোক্ত বিপত্তিজনক ভূতাত্ত্বিক অবস্থাগুলি বাঁধ নির্মাণকার্য্যের প্রারম্ভেই চিহ্নিত হওয়ায় ঐগুলির প্রতিষেধক ব্যবস্থা যথাসম্ভব গ্রহণ করিয়া বাঁধের ভিত্তিস্থানকে দৃঢ় ও বিপদমুক্ত করা হইয়াছে। এই প্রতিষেধক ব্যবস্থায় Heel claystone-এর স্তরটি নদীবক্ষের প্রায় 46 মিটার গভীর তলদেশ পর্য্যন্ত খনন করিয়া উহার অপসারণ করা হইয়াছে এবং ঐ শূন্যস্থান

কংক্রীট দ্বারা পূরণ করিয়া দেওয়া হইয়াছে। কোণাকুণী ও আড়াআড়ি যন্ত্রীমণ্ডলগুলি grouting-এর দ্বারা শক্তিশালী করা হইয়াছে যাহাতে কোনরূপ স্খলন এবং ক্ষরণজনিত বিপত্তি দেখা না দেয়। বাঁধের ভিত্তি-স্থানটি 9 হইতে 15 মিটার তলদেশ অবধি grouting-এর দ্বারা সুসংবদ্ধ করা হইয়াছে যাহাতে ভিত্তিস্থানের ভারবহন ক্ষমতা ও স্থিতিস্থাপকতার মান বৃদ্ধি পায়। বাঁধের heel-এর দিকে curtain grouting করিয়া উহাকে শক্তিশালী করা হইয়াছে। এই grouting অবস্থাবিশেষে ভিত্তি-স্থানের 90 মিটার গভীর তলদেশ অবধি বিস্তার করা হইয়াছে। কতক-গুলি যন্ত্রীমণ্ডলের অনুদৈর্ঘ্যের দিকে সুড়ঙ্গ খনন করিয়া বাঁধের দুই দিকের abutment অবধি পৌঁছিবার পর ঐ শূন্যস্থানগুলি কংক্রীট দ্বারা পূরণ করিয়া দেওয়া হইয়াছে। এই সকল প্রতিষেধক ব্যবস্থা ছাড়াও বাঁধের বিভিন্ন অংশে বিশদরূপে জল নিষ্কাশনের ব্যবস্থা আছে যাহাতে ভিত্তিস্থানে কোনরূপ অবরুদ্ধ জলের উপস্থিতির জন্য উর্ধ্বচাপের সৃষ্টি না হয়। বামপার্শ্বের বিদ্যুৎ উৎপাদন গৃহটির ভিত্তিস্থানে claystone থাকায় ঐ স্থানটিকে বিশেষভাবে কংক্রীটের সাহায্যে সুদৃঢ় করা হইয়াছে।

Bhakra বাঁধের নির্মাণকার্য্যের জন্য Neilla বেদী (Terrace) এবং Fatehwal Khad-এর বেদীগুলি হইতে প্রস্তরখণ্ডসমূহ ব্যবহার করা হইয়াছে। এই সকল বেদীতে quartzite, বালুশিলা এবং চূণা-পাথরের উধোপল ও সাল পাওয়া যায়। এইগুলি খুব কঠিন এবং অক্ষত অবস্থায় বিদ্যমান এবং quartzite এই সকল উপাদানের শতকরা প্রায় 85 ভাগ দখল করে। এই সকল উপাদানের মধ্যে ক্ষতিকারক বস্তু শতকরা মাত্র 1·5 ভাগে আছে। বাঁধ নির্মাণের প্রয়োজনীয় মিহি aggregate সমূহও এই সকল বেদী হইতে সংগ্রহ করা হইয়াছিল। এই aggregate-এর মধ্যে কোয়ার্টজ এবং quartzite অধিক মাত্রায় পাওয়া যায়। বালুকণা অতি সূক্ষ্ম অবস্থায় আছে এবং উহার সহিত মিশ্রিত ক্ষতিকর বস্তুগুলি ধৌত করিয়া এবং ছাঁকিয়া অপসারণ করা হইয়াছে। ইহা বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য যে Bhakra বাঁধের নির্মাণকার্য্যে আংশিকভাবে পোর্টল্যাণ্ড সিমেণ্টের পরিবর্তে Dagshai Shales-এ Kaolinite জাতীয় খনিজ পদার্থ থাকায় ঐ Shale pozzolan হিসাবে ব্যবহার করা হইয়াছে। এইস্থানে ইহাও উল্লেখ করা যাইতে পারে যে Bhakra বাঁধের ভিত্তিস্থানের ভূতাত্ত্বিক ও সাংযুতিক (Structural) বিশেষত্বের অনুসন্ধানে প্রায় 11 কিলোমিটার দীর্ঘ ভূছিদ্র এবং 1·2 কিলোমিটার দীর্ঘ সুড়ঙ্গ করা হইয়াছে।

Nangal Dam—Bhakra বাঁধের downstream দিকে Nangal-এ আর একটি 27·7 মিটার উঁচু কংক্রীট বাঁধ ও আনুষঙ্গিক কারিগরী গঠন-সমূহ নির্মাণ করা হইয়াছে। এই বাঁধটির প্রকল্পে Bhakra বাঁধের নিয়ন্ত্রিত জলপ্রবাহকে পুনরায় অবরুদ্ধ করিয়া যথাযোগ্যভাবে সেচের কাজে এবং পনরায় বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনে নিয়োগ করার ব্যবস্থা থাকে। Nangal বাঁধের নিয়ন্ত্রিত জল সেচপ্রণালী দিয়া Ropar অবধি প্রবাহিত হওয়া-কালীন Nangal ও Ropar-এর মধ্যে জমির যে ঢাল আছে তাহার সুযোগ লইয়া এই সেচপ্রণালীর জলপ্রবাহ দ্বারা Kotla এবং Gangwal নামক দুইটি স্থানে জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনকেন্দ্র স্থাপন করা হইয়াছে এবং এই দুইটি কেন্দ্র মোট 96 মেগাওয়াট বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন করে। Nangal বাঁধটি Siwalik যুগের শিলাস্তরসমূহের উপরিস্থ ভাগের Boulder Conglomerate নামক স্তরের উপর নির্মাণ করা হইয়াছে। এই conglomerate স্তর quartzite জাতীয় শিলার দ্বারা তৈয়ারী এবং ইহা ঐ স্তরের শতকরা প্রায় 97 ভাগ দখল করে। এই conglomerate সমূহ বালুশিলার মধ্যে নিবদ্ধ এবং কয়েক জায়গায় ভূজলের সাহায্যে calcium carbonate-এর অনুপ্রবেশ এই conglomerate গুলিকে আরও বেশী দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া ধরিয়া রাখিতে সক্ষম হইয়াছে।

Beas Dam (পাঞ্জাব)—বিপাশা (Beas) নদীর উপর Pong গ্রামের নিকট 1700 মিটার দীর্ঘ এবং 166 মিটার উঁচু এই বাঁধ নির্মিত হইয়াছে। ইহা একটি earth dam এবং ইহার ভিত্তিস্থানে প্রায় 100 মিটার গভীর তলদেশ অবধি Upper Siwalik যুগের বালুশিলা ও শেল শিলাসংস্তর আছে। এই বাঁধের জলাধার Upper এবং Middle Siwalik যুগের শিলাসংস্তরের উপর অবস্থিত এবং এই শিলাস্তরগুলি অভিনতির (Syncline) আকারে ভাজ খাইয়াছে। বাঁধের নির্মাণস্থানটি এই অভিনতির দক্ষিণ-পশ্চিম ভাঁজ বাহুর উপরে এবং ইহার বামদিকের abutment-এ chute spillway গঠন করা হইয়াছে। বালু ও শেল শিলাগুলি সিন্ধু উপত্যকার (Indus Valley) পাললিক অবক্ষেপের (Alluvial deposit) উপর ধাক্কা সহকারে সরিয়া আসার ফলে ঐ শিলা-স্তরগুলিতে ছোট ছোট ভাঁজের সৃষ্টি হইয়াছে। বাঁধের দক্ষিণ abut-ment-এ দুইটি ঊর্ধ্বভঙ্গ (Anticline) এবং একটি অভিনতি আছে এবং এই ভাঁজগুলির অবগাহ (Plunge) উত্তর-পশ্চিম দিকে। কিন্তু বামদিকের abutment-এ এই তিনটি বলি (Fold) সংযুক্ত হওয়ায় একটি

দ্বি-ভাঁজ অবগাহবিশিষ্ট উর্ধ্বভঙ্গে পরিণত হইয়াছে। বাঁধের এই স্থানটিতে নানাপ্রকার ভূতাত্ত্বিক সমস্যার সম্মুখীন হইতে হইয়াছে। প্রথমতঃ ভিত্তিস্থানে পারগম্য (Pervious) বালুশিলাস্তরগুলির ভারবহনশক্তি অপেক্ষাকৃত কম এবং দ্বিতীয়তঃ বাঁধের অক্ষরেখার আড়াআড়ি একটি চ্যুতিতল আছে। ভূজলের গতিবিধি অনুসন্ধান করিয়া জানা গিয়াছে যে বাঁধের অক্ষপথের কিয়দংশে এবং উহার জলাধারের এলাকায় আর্টেজীয় গঠন (Artesian structure) আছে এবং অনুমান হয় যে এই এলাকার অভিনত (Synclinal) গঠন ও উৎক্রমের উপস্থিতি ঐ আর্টেজীয় গঠনের সৃষ্টির জন্য দায়ী। বালুশিলাগুলির নতির মান অল্প হওয়ায় বাঁধের বামদিকের abutment হইতে সুড়ঙ্গপথে জলনিষ্কাশনের স্থানে ভিত্তি-তলে স্খলনের সম্ভাবনা বেশী। এইস্থানে পাহাড়ের ঢালসমূহের স্থায়িত্বও বিশেষ সুবিধার নহে। এখানকার স্থলাকৃতি প্রতিকূল অবস্থার হওয়ায় পূর্বে বেশ কয়েকবার বড় রকমের স্খলন হইয়াছে। এমনকি বাঁধ নির্মাণের সময়েও স্খলন দেখা গেছে। সুতরাং এই ঢালগুলির ভবিষ্যতে স্খলনের প্রতিরোধকল্পে যথোপযুক্ত ব্যবস্থা গ্রহণ অবশ্য কর্তব্য হইয়া পড়িয়াছে। 1905 খ্রীষ্টাব্দের Kangra Earthquake-এর উপকেন্দ্রটি এই বাঁধ হইতে 45 কিলোমিটার দক্ষিণ-পশ্চিমে ছিল। অবশ্য এই ব্যাপারে বাঁধের নির্মাণের design-এ ভূ-কম্পীয় নিরাপত্তার যথাযথ ব্যবস্থা করা হইয়াছে। এই বাঁধ নির্মাণের প্রয়োজনে coarse aggregate হিসাবে নিকটস্থ বেদী হইতে quartzite-এর সাল (Boulder) ও উধোপল (Gravel) ব্যবহৃত হইয়াছে। তবে নিকটে কোন মৃত্তিকার এবং rock-fill উপাদানের বৃহৎ উৎস না থাকায় এই বাঁধের design এমনভাবে করা হইয়াছে যে বাঁধের মূল (Core) অংশে চূর্ণ বালুশিলা এবং শেল-শিলা সমানভাগে মিশ্রণের পর ব্যবহার করা সম্ভব হইয়াছে। Beas Dam সেচ ও বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন উভয় উদ্দেশ্য সাধনের জন্য নির্মিত হইয়াছে। নয় মিটার ব্যাসবিশিষ্ট পাঁচটি সুড়ঙ্গ এবং 240 মেগাওয়াট বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনকেন্দ্র গঠিত হইয়াছে। ভবিষ্যতে প্রয়োজনবোধে আরও 60 মেগাওয়াট বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন বৃদ্ধি করিবার সংস্থান রাখা হইয়াছে।

Beas-Sutlej Link Project (হিমাচল প্রদেশ)—এই প্রকল্পটির হিমাচল প্রদেশের Mandi জেলায় 1965 খ্রীষ্টাব্দ হইতে নির্মাণকার্য্য আরম্ভ হইয়াছে। এই প্রকল্পানুযায়ী Pandoh নামক স্থানে একটি

গতি পরিবর্তনকারী (Diversion) বাঁধ নির্মাণের দ্বারা Beas নদীর কিছু অংশ জল Sutlej নদীতে প্রবাহিত করাইবার পরিকল্পনা করা হয় এবং এই কারণে Pandoh হইতে Baggi অবধি 13 কিলোমিটার দীর্ঘ একটি সুড়ঙ্গ নির্মাণের পরিকল্পনাও এই প্রকল্পের অন্তর্ভুক্ত থাকে। ইহা মুখ্যতঃ জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন প্রকল্প যদিও প্রায় 0·53 million hectares জমিতে জলসেচের সুবিধাও এই পরিকল্পনানুযায়ী পাওয়া যাইবে। Pandoh-তে 76·2 মিটার উঁচু earth ও rock-fill বাঁধটি Pandoh-Baggi সুড়ঙ্গের মধ্য দিয়া প্রায় 255 cumec জল Beas নদী হইতে Sutlej নদীতে প্রবাহিত করিবে এবং ঐ জল Sutlej নদীতে মিলিত হইবার স্থানে Dehar-এ 660 মেগাওয়াট বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন করিবে। এই বিদ্যুৎশক্তি চারিটি পৃথক কেন্দ্রে (প্রতিটি 165 মেগাওয়াট শক্তিবিশিষ্ট) উৎপাদন করা হইবে। তাহা ছাড়া ভবিষ্যতে আরও অনুরূপ শক্তির (165 মেগাওয়াট) দুইটি কেন্দ্র নির্মাণ করিয়া বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন বৃদ্ধি করিবার সংস্থান আছে। Pandoh-Baggi সুড়ঙ্গটির ব্যাস 7·6 মিটার এবং ইহার Baggi-র দিকে নির্গমনের মুখ হইতে Dehar বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন কেন্দ্র অবধি 12·15 কিলোমিটার দীর্ঘ একটি hydel জলপ্রণালীর সাহায্যে Beas-এর জল প্রবাহিত হইবে। Baggi-র দিকে ঐ জলপ্রণালীর পরিবহনের মাত্রা 255 cumec হইতে ক্রমশঃ হ্রাস পাইয়া Dehar-এর কাছে 212 cumec হইবে এবং Pandoh-র দিকে সুড়ঙ্গের প্রবেশ পথের লেভেল হইতে Dehar-এর বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনকেন্দ্রের লেভেল প্রায় 305 মিটার নীচে। এই অধিক মাত্রায় লেভেলের পার্থক্যের সুবিধা থাকায় এতবেশী জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের পরিকল্পনা এই প্রকল্পে করা হইয়াছে। এই প্রকল্পানুযায়ী Pungh (Dehar-এর নিকটে) হইতে Slapper অবধি 13 কিলোমিটার দীর্ঘ আর একটি সুড়ঙ্গ দিয়া Sutlej নদীর জল Gobind Sagar (Bhakra বাঁধের জলাধারের নাম)-এর শীর্ষস্থানে (Head) লইয়া যাওয়া হইবে এবং Slapper বিদ্যুৎ উৎপাদন-কেন্দ্রে penstock-এর সাহায্যে এই জল অবতরণ করাইয়া ও বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন করিয়া পরিশেষে আবার Sutlej নদীতে নিষ্কাশিত করা হইবে। ইহার দ্বারা Bhakra Complex-এর বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন ক্ষমতা প্রায় 148 মেগাওয়াট বৃদ্ধি পাইবে।

প্রথমে Pandoh-তে একটি কংক্রীটের Gravity বাঁধ নির্মাণের প্রস্তাব করা হয়। কিন্তু এইস্থানে Chail Series-এর phyllite এবং অন্ত

পরিমাণে quartzite শিলাসংস্তর থাকায় এবং এইগুলিতে বহু সন্ধিতল থাকায় উপরোক্ত প্রকারের বাঁধ নির্মাণ যুক্তিযুক্ত বলিয়া বিবেচিত হয় নাই। এই সন্ধিগুলির পত্রায়ণতল downstream দিকে নতিবিশিষ্ট এবং কয়েকটি আবার প্রস্তাবিত বাঁধের অক্ষরেখার সহিত তির্যকভাবে আছে। তদুপরি এই বাঁধ নির্মাণের স্থানটি 1905 খ্রীষ্টাব্দের Kangra Earthquake-এর Rossi-Forrel Isoseismal IX-এর প্রভাবান্বিত এলাকার অন্তর্ভুক্ত হওয়ায় পরিশেষে একটি earth cum rock-fill বাঁধ নির্মাণ স্থির হয় এবং ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানের ফলাফলের উপর নির্ভর করিয়া বাঁধের alignment পরিবর্তন করা হয়। এই বাঁধটির দক্ষিণ-দিকের abutment-এর স্থিতিশীলতা সম্বন্ধে সন্দেহ থাকায় এইদিকে খননকার্য যথাসম্ভব বর্জন করা হইয়াছে যাহাতে নির্মাণকার্য্য চলাকালীন কোনরূপ স্খলন না হয়। সাধ্যমত সকল প্রতিরোধ ব্যবস্থা গ্রহণ করা সত্বেও ইহা স্থির হইয়াছে যে বাঁধ নির্মাণের পর উহার জলাধার দ্বারা দক্ষিণদিকের এই abutment পূর্ণ সংপৃক্ত (Saturated) হওয়ার পর উহার অবস্থা কি দাঁড়ায় তাহা বিশেষভাবে নিরীক্ষণ করিতে হইবে।

Nagarjunasagar Dam Project (অন্ধ্রপ্রদেশ)—এই বহুমুখী প্রকল্পানুযায়ী অন্ধ্রপ্রদেশের বিজয়পুরীতে কৃষ্ণা নদীর উপর 122 মিটার উঁচু একটি বাঁধ নির্মাণ করা হইয়াছে। বাঁধটি 4839 মিটার দীর্ঘ, তন্মধ্যে spillway সমেত masonry অংশ দৈর্ঘ্যে প্রায় 1000 মিটার এবং earth dam দুইপার্শ্বে বাকী দৈর্ঘ্য পূরণ করে। এইস্থানে গিরিখাতের সর্বনিম্ন প্রস্থ প্রায় 914 মিটার। কৃষ্ণা নদীর বক্ষ বাঁধের upstream-এ বেশ প্রশস্ত এবং Nallamala পর্বতমালার মধ্যে 'U' আকারের চওড়া গিরিখাত দিয়া এই নদীর বহির্গমনের স্থানে বাঁধটি নির্মিত হইয়াছে। Spillway-টি নদীবক্ষে অবস্থিত এবং বাঁধের দক্ষিণ ও বাম প্রান্ত হইতে যথাক্রমে 1,249 এবং 2,133 মিটার দীর্ঘ ও 8·2 মিটার ব্যাসের সুড়ঙ্গ দিয়া সেচের জন্য জল নিষ্কাশনের ব্যবস্থা করা হইয়াছে। সেচের জল সরবরাহ ছাড়াও Srisailam প্রকল্পের সহিত যুক্তভাবে জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের পরিকল্পনাও এই প্রকল্পের (Nagarjunasagar) অন্তর্ভুক্ত।

বাঁধ নির্মাণের স্থানে সারা নদীবক্ষে আর্কীয় (Archaean) যুগের granite-gneiss শিলাসংস্তরের উদ্‌বেধ দেখা যায়। এইগুলি সংহত (Massive) প্রকৃতির, তবে dolerite dykes উদ্‌বেধী (Intrusive) হিসাবে ইহাদের মধ্যে আছে। নদীর দুইতীরে Cuddapah যুগের শেল ও

quartzite শিলাস্তরগুলি granite-gneiss-এর উপরে ব্যুৎক্রমে (unconformably) অবস্থিত। Granite-gneiss শিলাগুলি নদীবক্ষে মাত্র চারি মিটার গভীর তলদেশ অবধি চূর্ণীভূত অবস্থায় পাওয়া যায়, কিন্তু abutment দুইটিতে এই চূর্ণীভূত অবস্থা জায়গা বিশেষে উর্ধ্বাধদিকে প্রায় 18 মিটার গভীর এবং বাম ও দক্ষিণতীরে এই অবস্থা যথাক্রমে 30 এবং 60 মিটার অবধি অনুভূমিকদিকে লক্ষ্য করা গেছে। Quartzite শিলাস্তরগুলি সন্ধিপূর্ণ এবং এই সন্ধিগুলি নিম্নস্থ granite-gneiss-এর সহিত উহাদের সংযোগস্থল অবধি বিস্তৃত। Granite-gneiss ও শেল শিলাসংস্তরগুলিতে সন্ধিসমূহ প্রায় বদ্ধ বা নিরেট (Tight) অবস্থায় আছে। Granite-gneiss শিলাসংস্তরে নদীবক্ষে একটি যন্ত্রীমণ্ডল এবং বামদিকের abutment-এ একটি পাঁচ মিটার প্রস্থের চ্যুতিতল ব্যতিরেকে আর কোন সাংযুতিক (Structural) বিশৃঙ্খল অবস্থা বাঁধটির অক্ষপথে দেখা যায় না। ইহা ছাড়া নদীবক্ষে অবস্থিত dolerite dyke একটি চ্যুতিমণ্ডলের অবস্থিতি জ্ঞাপন করে। এইসকল যন্ত্রীমণ্ডল ও চ্যুতিমণ্ডলের স্থানগুলিতে খননকার্য্য চালাইয়া চূর্ণীভূত বস্তুসমূহ অপসারণ করাইবার পর grouting করা হইয়াছে। বাঁধের অক্ষপথে dolerite dyke এবং granite-gneiss-এর সংযোগস্থলে চ্যুতিতলটি grouting করা ছাড়াও এইস্থানে বাঁধের heel ও toe উভয়দিকে প্রায় 8·5 মিটার গভীর cut-off পর্দা (Curtain) নির্মাণ করিয়া জলক্ষরণের সম্ভাবনা দূর করা হইয়াছে। বাঁধের উভয় abutment-এই উপরভাগে Cuddapah যুগের quartzite ও শেল শিলাস্তরগুলির সংস্তরায়ণের (Bedding) মধ্যে নরম চূর্ণীভূত শিলাস্তর থাকায় ঐগুলি নিম্নদিকে granite-gneiss-এর সংযোগস্থল অবধি grouting করিয়া দেওয়া হইয়াছে। বাঁধের upstream দিকে প্রায় 30 মিটার দূর অবধি abutment দুইটির ঢালুগায়ে quartzite ও শেল শিলাসংস্তরের সহিত granite-gneiss-এর সংযোগস্থলের উপরে গাঁথনি করিয়া আচ্ছাদিত করা হইয়াছে। বাঁধের গাঁথনির জন্য coarse aggregate হিসাবে স্থানীয় quartzite ব্যবহৃত হইয়াছে।

Srisailam Project (অন্ধ্রপ্রদেশ)—এই প্রকল্পটি 770 মেগাওয়াট জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের জন্য করা হয় এবং পরিকল্পনায় এই উৎপাদিত বিদ্যুৎশক্তি Nagarjunasagar প্রকল্পের উৎপাদিত বিদ্যুৎশক্তির সহিত একীভূত করিবার ব্যবস্থা থাকে। 138·6 মিটার উঁচু এই masonry বাঁধটি কৃষ্ণা নদীর উপর পাতালগঙ্গা নামকস্থানে নির্মিত হইয়াছে।

এইস্থানে কৃষ্ণা নদী 275 মিটার গভীর একটি 'V-আকৃতির' গিরিখাতের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইতেছে। নদীপথটি এইস্থানে প্রায় 90 মিটার চওড়া এবং বামদিকের abutment ঘেঁসিয়া আছে। গ্রীষ্মকালে নদীর জল প্রায় 12 মিটার গভীর থাকে তবে কোন কুণ্ডে (Pool) 27 মিটার অবধি লক্ষ্য করা গেছে। এইস্থানে spillway ও বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন-গৃহ সমেত সম্পূর্ণ বাঁধটি নির্মাণের জন্য গিরিখাতটির প্রস্থ উপযুক্ত বিবেচিত হয়। নদীবক্ষের অগভীর অংশে এবং দুই তীরে সমতল সংস্তরায়িত quartzite শিলাস্তরের উদ্‌ভেদ আছে এবং ইহাদের মধ্যে শেল শিলা স্তরানুগ্রথিত (Interbeded) অবস্থায় আছে। Abutments দুইটিতে কোন কোন quartzite-এর স্তর মসূরিত (Pitted) এবং অতিশয় বিশরিত ও ক্ষয়প্রাপ্ত অবস্থায় আছে। নদীবক্ষের quartzite শিলাগুলি সংহত প্রকৃতির এবং খুব কঠিন ও ভারবহনশীল। ইহাদের এক একটি স্তর প্রায় দুই মিটার মোটা, স্থিতিস্থাপক (Elastic), এবং বৃহৎ সন্ধিতল থাকায় খণ্ডাকৃতির। এমন কি নদীবক্ষের গভীর প্রণালীগুলিতে স্তরানুগ্রথিত শেল শিলাগুলি বেশ ভারবহনশীল এবং স্থিতিস্থাপকতাগুণ-বিশিষ্ট। তাহা ছাড়া এইগুলি জলসিক্ত হইলেও শক্তিহীন হয় না। তবে abutments-এর শেল শিলাগুলির শক্তি কম এবং জলহাওয়ার সংস্পর্শে চূর্ণীভূত হইয়া পড়ে। বাঁধের ভিত্তিতলের শিলাসমূহ বহু সংস্তরায়ণতল এবং বিস্তীর্ণ সন্ধিবিশিষ্ট হওয়ায় বাঁধের জলাধার হইতে অতিরিক্ত ক্ষরণের আশঙ্কা দেখা দেয়। তদুপরি বাঁধের ভারে ঐ সকল সাংযুতিক (Structural) দুর্বলতাপূর্ণ স্থানগুলি উর্ধ্বাধদিকে বসিয়া যাওয়ার অথবা স্খলিত হইবার সম্ভাবনা থাকায় নির্মাণকার্য্যে সমস্যার সৃষ্টি করে। এই বাঁধটির নির্মাণে তিনটি প্রধান সমস্যার সম্মুখীন হইতে হয়। ইহাদের মধ্যে প্রথমটি বাঁধের ভিত্তিস্থলে স্খলন। এই স্থানের শিলাসংস্তরগুলি downstream দিকে মাত্র 3° হইতে 7° ডিগ্রী নতিবিশিষ্ট হওয়ায় এবং clay জাতীয় সরু স্তরগুলি স্তরানুগ্রথিত থাকায় ও নির্মাণস্থান হইতে প্রায় 200 মিটার downstream দিকে গভীর জলকুণ্ড থাকায় স্খলনের প্রবণতা উল্লেখযোগ্য হয়। ইহার প্রতিরোধকল্পে বাঁধের পাদদেশে খনন করিয়া ও কীলক আকারের (Wedge-shaped) গহ্বর সৃষ্টি করিয়া 30 মিটার চওড়া কংক্রীটের বাঁধন গাঁথিয়া দেওয়া হইয়াছে। বাঁধটিকে এইস্থানে একক-শিলা (Monolith) রূপে ও উহার অক্ষরেখাকে বৃহৎ খিলানের আকারে বক্র করিয়া নির্মাণ করা হইয়াছে। দ্বিতীয় সমস্যা হইল সন্ধিবহুল

শিলাস্তরগুলির বৃহৎ খণ্ডাকারে অবস্থান। ইহা হইতে উদ্ভূত বিপত্তির দূরীকরে সারা ভিত্তিতলটিতে তিন মিটার অন্তর ছিদ্র করিয়া এবং 9 হইতে 12 মিটার গভীর তলদেশ অবধি grouting-এর দ্বারা পূরণ করিয়া দেওয়া হইয়াছে। ইহা ছাড়া বাঁধের heel-এর দিকে grouting করিয়া একটি পর্দা নির্মাণ করিয়া জলক্ষরণের আশঙ্কা দূর করা হইয়াছে। বাঁধটির দুই abutments-এ বিশরিত ও চূর্ণীভূত quartzite এবং শেল শিলার অবস্থান ঐ স্থানগুলিকে যথেষ্ট দুর্বল ও জলক্ষরণের সহায়ক করিয়া দেয়। এই তৃতীয় সমস্যার প্রতিবিধান স্বরূপ abutments-এ সুড়ঙ্গ (Drift) কাটিয়া ক্ষয়প্রাপ্ত ও বিশরিত শিলাবশেষ অপসারণ করা ও শূন্যস্থান কংক্রীট দিয়া ভর্ত্তি করার ব্যবস্থা করা হইয়াছে। উপরন্তু upstream দিকে abutments-এর ঢালগুলি বেশ কিছুদূর অবধি নিশ্ছিদ্র উপাদান যথা কংক্রীট বা asphalt দ্বারা আচ্ছাদিত করিয়া দেওয়ার সংস্থান করা হইয়াছে যাহাতে জলাধারের অবরুদ্ধ জল এই সকল দুর্বল শিলাস্তরগুলির সংস্পর্শে না আসে। এই বাঁধটির নির্মাণের coarse aggregate হিসাবে স্থানীয় quartzite পাথর ব্যবহৃত হইয়াছে।

Umiam (Barapani) Project (মেঘালয়)—এই প্রকল্পটি জলবিদ্যুৎ শক্তি উৎপাদনের জন্য করা হয় এবং ইহার পরিকল্পনায় Shillong-এর 15 কিলোমিটার উত্তরে Barapani-র নিকট Umiam নদীর উপরে একটি 170 মিটার দীর্ঘ এবং 72 মিটার উঁচু কংক্রীটের বাঁধ নির্মাণ করা হইয়াছে। এই বাঁধের জলাধারের বিস্তৃতি প্রায় 10 বর্গকিলোমিটার এবং কংক্রীটের মূল বাঁধটি ছাড়া 28 মিটার ও 15 মিটার উঁচু দুইটি earth dyke নির্মাণ করা হইয়াছে। এই বাঁধের জল 2134 মিটার দীর্ঘ সুড়ঙ্গের সাহায্যে প্রবাহিত করাইয়া 36 মেগাওয়াট বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের সংস্থান করা হইয়াছে। এই বাঁধের নির্মাণস্থানে ও আশেপাশে প্রাক্-কেম্ব্রিয়ান যুগের Shillong Series নামে ভূতাত্ত্বিক শ্রেণীভুক্ত phyllites ও quartzite শিলাসংস্তর বিদ্যমান। এই শিলাগুলি যথেষ্ট কঠিন ও শক্তিশালী হইলেও সন্ধিবহুল। Quartzite-এর বিস্তরগুলি (Bands) প্রায় তিন মিটার মোটা এবং phyllites এই quartzite-এর মধ্যে সরু স্তর হিসাবে আছে। শিলাসংস্তরগুলি মোটামুটি উর্ধ্বাধভাবে অথবা down-stream দিকে প্রায় 75° ডিগ্রী নতিযুক্ত অবস্থায় আছে এবং ইহাদের অনুদৈর্ঘ্য N.E.—S.W. দিকে। বাঁধের অক্ষরেখা অনুদৈর্ঘ্যের সহিত প্রায় 21° ডিগ্রী তির্যকভাবে নিরূপিত হইয়াছে। বাঁধটির নির্মাণস্থান একটি

আঞ্চলিক ভাঁজের অভিনত (Synclinal) অংশে এবং এই অভিনতির অক্ষরেখা N.E.—S.W. দিকে। E.N.E.—W.S.W. দিকে বিস্তৃত একটি যন্ত্রীমণ্ডল বাঁধের downstream দিকে উর্ধ্বাধ অবস্থায় দেখা গেছে। বাঁধের অক্ষপথের প্রায় মাঝ বরাবর জায়গায় phyllites সংস্তরগুলি চ্যুতিগ্রস্ত। Upstream দিকে epidiorite শিলাসংস্তর দেখা যায়। বিশরিত ও চূর্ণীভূত যন্ত্রীমণ্ডল এবং চ্যুতিতল হইতে খননের দ্বারা আকর সন্নিহিত স্তর (Gouge) সমূহ পরিষ্কার করিয়া কংক্রীট দিয়া পূরণ করা হইয়াছে। বিস্তৃত সন্ধিগুলি grouting দ্বারা বন্ধ করিয়া দেওয়া হইয়াছে। ইহা ছাড়াও ভিত্তিতলে phyllite শিলাসংস্তরগুলি অধিকমাত্রায় ক্ষয়প্রাপ্ত হওয়ায় গভীর তলদেশ অবধি খননকার্য্য চালাইয়া কঠিন শিলাস্তরের লেভেলে পৌঁছিলে পর ঐ স্তর হইতে গাঁথনি করা হইয়াছে। Phyllites ও quartzites-এর সংযোগস্থলগুলিও grouting করিয়া শক্তিশালী করা হইয়াছে। 2134 মিটার দীর্ঘ সুড়ঙ্গটির ব্যাস তিন মিটার এবং ইহা Shillong series-এর phyllite, quartzite, রূপান্তরিত কংগ্লোমারেট ও epidiorite জাতীয় শিলাসংস্তর সমূহের ভিতর দিয়া অগ্রসর হইয়াছে। সুড়ঙ্গটির নির্মাণকালে উহার নির্গমদ্বারের নিকট প্রায় 60 মিটার দীর্ঘ অংশের ছাদ ধ্বসিয়া পড়ে এবং পরে re-inforced কংক্রীটের আস্তরণ গাঁথিয়া ঐ নির্মাণ কার্য্য শেষ করা হয়। সুড়ঙ্গের ভিতরে বিভিন্ন শিলা-সংস্তরের সংযোগস্থল এবং সন্ধি ও ফাটপূর্ণ স্থানগুলি যথাক্রমে grouting করিয়া দেওয়া হয়। এই বাঁধটি 1897 খ্রীষ্টাব্দের আসামের প্রলয়ঙ্করী ভূমিকম্পের উপকেন্দ্রের (Epicentre) নিকটস্থ হওয়ায় ইহার নির্মাণের design-এ উপযুক্ত ভূ-কম্পীয় নিরাপত্তার ব্যবস্থা গ্রহণ করা হইয়াছে। Umiam কংক্রীট বাঁধটির নির্মাণে ঐ নদীবক্ষ হইতে সংগৃহীত quartzite ও epidiorite শিলার উধোপল (Gravel) সমূহ ব্যবহৃত হইয়াছে।

Kopili Project (আসাম ও মেঘালয়)—এই প্রকল্পটি যদিও এখনও বাস্তবে পরিণত হয় নাই, তথাপি ইহার নির্মাণে যে সকল কারিগরী অসুবিধার সম্মুখীন হইতে হইবে সেই সকল বিষয়ে ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষার দ্বারা বহু উল্লেখযোগ্য এবং গুরুত্বপূর্ণ তথ্যাদি সংগৃহীত হইয়াছে। এই তথ্যগুলি এখানে সংক্ষেপে আলোচনা করিতেছি যাহাতে অনুরূপ কোন প্রকল্পের সমীক্ষায় এই সকল তথ্যলব্ধ জ্ঞান সহায়ক হয়।

এই প্রকল্পানুযায়ী Kopili নদীর উপর একটি 67 মিটার উঁচু বাঁধ এবং ইহার শাখা নদী Umrong-এর উপর 28 মিটার উঁচু বাঁধ ও 2·25

এবং 5·1 কিলোমিটার দীর্ঘ দুইটি সুড়ঙ্গ নির্মাণ করিয়া বাঁধ দুইটির জলের সাহায্যে মোট 500 মেগাওয়াট বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের পরিকল্পনা করা হইয়াছে। এই প্রকল্প এলাকায় প্রাক্ কেম্ব্রিয়ান (pre-Cambrian) যুগের granite, gneiss এবং তদুপরি Paleocene ও Eocene যুগের বালুশিলা, চূণাপাথর এবং শেল আছে। চূণাপাথরের স্তরগুলি Sylhet Limestone এবং শেল পাথরের স্তরগুলি Kopili Shales নামে পরিচিত। আর বালুশিলা স্তরসমূহ Cherra Sandstone বলিয়া অভিহিত। যদিও বাঁধ দুইটি এবং সুড়ঙ্গ দুইটির নির্মাণের স্থান pre-Cambrian granite-এর উপর নিরূপিত হইয়াছে, কিন্তু Kopili এবং Umrong জলাধার দুইটির বিস্তৃতি শতকরা প্রায় পঞ্চাশ ভাগ Sylhet Limestone শিলাসংস্তরের উপর হইবে। এই Sylhet Limestone-এর স্তরগুলির সহজেই দ্রবীভূত হওয়ার প্রবণতা থাকায় উহাদের মধ্যে বহুল পরিমাণে নিমজ্জিত রন্ধ্র (Sink hole), কন্দর (Caverns) এবং দ্রবণজনিত প্রণালীর (Solution channel) সৃষ্টি হইয়াছে। এইরূপ অবস্থাপ্রাপ্ত চূণাপাথরকে Karstic Limestone আখ্যা দেওয়া হয়। এই ত্রুটীপূর্ণ শিলাসংস্তরের উপস্থিতির জন্য Kopili ও Umrong জলাধার দুইটির তলদেশ হইতে যথেষ্ট পরিমাণে জলক্ষরণ হইয়া উহাদের অচিরেই জলশূন্য করিয়া ফেলিবে এবং জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের প্রকল্পটিকে অসার্থক করিয়া দিবে। Sylhet Limestone, Kopili Shale এবং Cherra Sandstone এই তিন কালের শিলাস্তরগুলি S. E. দিকে 1° হইতে 5° ডিগ্রী নতি বিশিষ্ট অবস্থায় আছে এবং সকল শিলাসংস্তরগুলিতেই কয়েকটি চ্যুতিতল এবং সন্ধিতল আছে। চূণাপাথরগুলি খুব কঠিন ও সংহত প্রকৃতির হওয়ায় এবং সেই কারণে বৃষ্টির জল সহজে উহাদের মধ্যে প্রবেশ করিতে না পারায় সন্ধি ও ফাটসমূহ দিয়া ঐ জল নিম্নদিকে প্রবাহিত হইয়াছে এবং সাথে সাথে চূণাপাথর দ্রবীভূত হইয়া ঐ সকল প্রবেশ পথের আয়তন বৃদ্ধি করিয়াছে। ফলে বর্তমানে চূণাপাথরের স্তরগুলি Karstic অবস্থা প্রাপ্ত হইয়াছে। ভূপৃষ্ঠে যে সকল গহ্বর দেখা যায় সেইগুলি ভূনিম্নে নিমজ্জিত রন্ধ্র ও দ্রবণজনিত প্রণালীর সহিত সংযুক্ত আছে। ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধানে দেখা গেছে যে এই solution channel-গুলির মধ্যে কোন কোনটি প্রায় এক কিলোমিটার দীর্ঘ এবং 20 মিটার ব্যাসবিশিষ্ট। কল্পিত জলাধার দুইটির তলদেশে প্রায় 350-টি কন্দরের উপস্থিতির প্রমাণ পাওয়া গেছে এবং ইহাদের মধ্যে একটি প্রায় 43 মিটার গভীর।

ভূ-পদার্থিক অনুসন্ধানের দ্বারা জানা গিয়াছে যে কল্পিত Umrong জলাধারের স্থানে এইরূপ কন্দর ভূপৃষ্ঠের 30 মিটার হইতে 120 মিটার গভীর তলদেশ অবধি বিদ্যমান। Kopili প্রকল্প এলাকার ভূ-আকৃতি (Geomorphic pattern) এরূপ যে নিম্নদিকের উপত্যকাগুলি শিলা স্তর-সমূহের নতির দিকে অবস্থিত। কল্পিত Umrong জলাধারটি Kopili জলাধার হইতে প্রায় 120 মিটার নীচে থাকিবে এবং Umrong জলাধারের পূর্বদিকে প্রায় 190 মিটার নীচে Langlai নদী প্রবাহিত। সুতরাং বাঁধ নির্মাণ হইলে Kopili জলাধারের জল Umrong জলাধারের দিকে এবং শেষোক্ত জলাধারের জল Langlai নদীতে কন্দর সমূহ এবং দ্রবণ-জনিত প্রণালীর মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইয়া যাইবার যথেষ্ট সুযোগ পাইবে। তেজস্ক্রিয় রাসায়নিক বস্তুর সাহায্যে পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে উপরোক্ত ধারণা ঠিক এবং এই এলাকার ভূজলের গতিবিধি লক্ষ্য করিয়া এই তথ্যই প্রমাণিত হইয়াছে। সুতরাং এই জলাধারগুলির ক্ষরণসমস্যা প্রকল্পটির বাস্তবে পরিণত হওয়ার প্রতিবন্ধকস্বরূপ। আমাদের দেশে বাঁধ নির্মাণের ব্যাপারে আর কোথাও ইতিপূর্বে এইরূপ সমস্যার সম্মুখীন হইতে হয় নাই।

Ukai Project (**গুজরাট**)—এই প্রকল্পানুযায়ী Tapti নদীর উপরে একটি 68 মিটার উঁচু earth-cum-masonry বাঁধ নির্মাণ করা হইয়াছে। বাঁধের নির্মাণ স্থানে ও আশেপাশে সংহত এবং লাভারন্ধ্রবিশিষ্ট (Amygdaloidal) ব্যাসল্টের স্তরগুলি বিদ্যমান এবং এই স্তরগুলিতে বেশ কয়েকটি dolerite dyke প্রবিষ্ট (Intruded) হইয়াছে। কিন্তু নদীর বামতীর প্রায় 20 মিটার পুরু বালু, পলি ও clay মৃত্তিকা সমষ্টির স্তর দ্বারা আচ্ছাদিত। দক্ষিণ তীরেও পলিমাটির আস্তরণের নীচে পূর্ব-পশ্চিমে বিস্তৃত তিনটি যন্ত্রীমণ্ডল আছে। উহাদের প্রয়োজনমত খনন করিয়া কংক্রীট দ্বারা পূরণ, grouting এবং কংক্রীটের cut-off পর্দা (Diaphragm) নির্মাণ করিয়া ঐ যন্ত্রীমণ্ডলগুলির উপস্থিতি বশতঃ বিপত্তির প্রতিষেধক ব্যবস্থা অবলম্বন করা হইয়াছে। বামতীরে earth ও masonry বাঁধের অবস্থান্তর (Transition) মণ্ডলে শিলাগুলি সন্ধি ও যন্ত্রীবিশিষ্ট হওয়ায় বাঁধের অক্ষপথ (Axis) upstream দিকে কিছুটা সরাইতে হইয়াছে। Spillway-র ভিত্তিস্থানে কয়েকটি ছোট যন্ত্রীমণ্ডল উপস্থিত থাকায় এবং ঐগুলি downstream দিকে 2° হইতে 5° ডিগ্রী নতিবিশিষ্ট হওয়ায় ঐ স্থানগুলি উত্তমরূপে grouting করিয়া দেওয়া হইয়াছে। বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন

গৃহটির ভিত্তিস্থানে প্রকেলাসিত (Porphyritic) এবং লাভারন্ধ্রপূর্ণ ব্যাসল্টের উপস্থিতির জন্য ঐ শিলাগুলিকে প্রায় 38 মিটার গভীর তলদেশ অবধি grout করিয়া সুসংবদ্ধ করা হইয়াছে।

Tawa Project (**মধ্যপ্রদেশ**)—মধ্যপ্রদেশের Hoshangabad জেলায় জলসেচের প্রয়োজনে এই বাঁধটি নর্মদা নদীর শাখা Tawa নদীর উপর নির্মাণ করা হইয়াছে। ইহা 58 মিটার উঁচু একটি earth dam এবং ইহার মাঝামাঝি জায়গায় masonry spillway গাঁথা হইয়াছে। বাঁধটির নিমাণস্থানে আর্কীয় (Archaean) যুগের granite এবং Upper Gondwana কালের পাললিক শিলাসংস্তর বিদ্যমান। ইহার masonry অংশের ভিত্তিস্থানে granite এবং বালুশিলা আছে। ইহাদের মধ্যে অন্তর্সন্নিবেশিত (Intercalated) অবস্থায় মাসুরাকৃতির (Lenticular) অভ্রাল (Micaceous) ও অঙ্গারময় (Carbonaceous) শেল পাথরের সরু স্তর আছে। বালুশিলাগুলি মৃন্ময় (Agrillaceous) ও felspathic ধরনের এবং ঐগুলিতে স্রোত-স্তরায়ণ (Current-bedding) দেখা যায়। অন্যস্থানে বালুশিলাগুলির মধ্যে শেল পাথরের সংস্তর আছে এবং ঐগুলি প্রায় এক মিটার মোটা। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে ভিত্তিস্থানের এই শিলাগুলির সরন্ধ্রতা এবং ভারবহন শক্তির মান সর্বস্থলে এক নহে। ভিত্তিস্থানের শিলাগুলি বেশীর ভাগ মোটাদানাবিশিষ্ট এবং উহাদের ভার-বহন ক্ষমতা যথেষ্ট বিবেচিত হইলেও যন্ত্রীশক্তি অতি নিম্নমানের। এই সকল গুণাগুণ বিচার করিয়া বাঁধের design-এ ইহার তলদেশের প্রস্থ 56 মিটার স্থির করা হয়। তাহা ছাড়া স্খলনের সম্ভাবনার প্রতিরোধ-কল্পে বাঁধটির design ঈষৎ বক্রভাবে করা হইয়াছে এবং masonry অংশ চওড়া একক শিলাখণ্ড হিসাবে গাঁথা হইয়াছে। এই গাঁথনি ভিত্তিস্থানের কোনরূপ ত্রুটীবিহীন শিলাসংস্তরের প্রায় তিন মিটার তলা হইতে সুরু করা হয়।

Koyna Project (**মহারাষ্ট্র**)—ইহা একটি জলবিদ্যুৎ শক্তি উৎপাদন প্রকল্প এবং পরিকল্পনানুযায়ী Koyna নদীর উপর 82 মিটার উঁচু একটি অসমপ্রস্তরখণ্ডবিশিষ্ট (Rubble) কংক্রীটের বাঁধ এবং Pophli-র নিকট ভূনিম্নে বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন গৃহ নির্মাণ করা হইয়াছে। বাঁধ নির্মাণের স্থানে Deccan Trap গোষ্ঠির স্থূল সংহত (Massive) ব্যাসল্ট শিলা আছে তবে এই ব্যাসল্টের সহিত লাভারন্ধ্রবিশিষ্ট (Amygdaloidal) ব্যাসল্ট, খণ্ডিকর (Breccia), Red Bole এবং আগ্নেয়গিরিজাত ভস্মের (Volcanic ash)

উপস্থিতি উল্লেখযোগ্য। বাঁধের ভিত্তিতলে (Foundation level) সংহত ব্যাসল্টের একটি সরু স্তরের নীচে 10 হইতে 13 মিটার মোটা আগ্নেয়-গিরিজাত ভস্মখণ্ডি (Tuff breccia) থাকায় এবং grouting-এর দ্বারা ইহাদের অবস্থার পরিবর্তন ঘটাইতে সক্ষম না হওয়ায় নদীবক্ষের প্রায় 18 মিটার গভীর তলদেশে অবস্থিত একটি ব্যাসল্ট স্তর অবধি খনন করিয়া ঐ স্থান হইতে ভিত্তি গঠন করা হইয়াছে। Deccan Trap এলাকায় ব্যাসল্টের কঠিন প্রকৃতির জন্য বাঁধের ভিত্তি গঠনে সাধারণতঃ কোন সমস্যা দেখা দেয় না, কিন্তু উপরোক্ত দুর্বল এবং ক্ষতিকর শিলাসমূহের উপস্থিতির জন্য ভিত্তিস্থানকে সুদৃঢ় করিতে নানারূপ ব্যবস্থা অবলম্বন করিতে হইয়াছে। Red bole, tuff ও breccia-র উপস্থিতি ছোট ছোট গহ্বরযুক্ত হওয়ায় ঐগুলি খনন করিয়া সরাইয়া ফেলিতে হইয়াছে এবং বিশেষ নির্মাণ পদ্ধতির দ্বারা ঐ সকল স্থান দিয়া জলক্ষরণের সম্ভাবনা দূর করা হইয়াছে। Koyna মূল বাঁধটি চল্লিশটি এককশিলা (Monolith) বিশিষ্ট খণ্ডে (Block) নির্মাণ করা হইয়াছে এবং প্রতিটি খণ্ডের প্রস্থ 15·24 মিটার ও ইহারা নির্মাণ সন্ভেদ (Joints) দ্বারা একে অপরের সহিত পৃথকভাবে অবস্থিত। ভিত্তিস্থানে দুই থেকে চারি মিটার অবধি প্রস্থের একটি যন্ত্রীমণ্ডল প্রায় 13 মিটার গভীর তলদেশ অবধি 12, 13 এবং 14 নম্বর খণ্ডগুলির (Blocks) স্থানে অবস্থান করায় ঐ স্থান হইতে চূর্ণীভূত শিলাসমূহ অপসারণ করিয়া কংক্রীটের দ্বারা পূরণ করা হইয়াছে। বাঁধের দক্ষিণপ্রান্ত পাড়ের (Abutment) সহিত আবদ্ধ করিবার স্থানে red bole, breccia ও amygdaloidal ব্যাসল্ট জাতীয় শিলাসমূহ থাকায় ঐ স্থান বরাবর একটি সুড়ঙ্গ নির্মাণ করা হয় এবং পরে উহা কংক্রীটের দ্বারা পূরণ ও grout করিয়া দেওয়া হয়। ভূনিম্নে বিদ্যুৎ উৎপাদন গৃহে চাপে জল সরবরাহের জন্য যে প্রবেশ পথ (Shaft বা Intake Tunnel) নির্মিত হইয়াছে, ঐ প্রবেশ পথে কঠিন ও নরম শিলার পর্য্যায়ক্রমে উপস্থিতি বশতঃ ইস্পাতের আস্তরণের দ্বারা উহাকে শক্তিশালী করা হইয়াছে। Koyna বাঁধের নির্মাণে coarse aggregate হিসাবে ব্যাসল্ট ব্যবহৃত হইয়াছে।

1967 খ্রীষ্টাব্দের 11th ডিসেম্বর তারিখে Koyna বাঁধ ভূমিকম্পের দ্বারা দোলায়িত হওয়ায় ইঞ্জিনীয়ার ও ভূতাত্ত্বিক মহলে বিস্ময়ের সঞ্চার হয়। ইহার পূর্বে আমাদের দেশে উপদ্বীপীয় (Peninsular) এলাকায় কোন বৃহৎ ও ভারী কারিগরী গঠনের প্রকল্পে ভূ-কম্পীয় সমীক্ষা বিশেষ

প্রয়োজনীয় বলিয়া গণ্য হইত না কারণ এই এলাকায় এযাবৎকাল নিম্ন-মানের ভূকম্পন উপলব্ধি করা হইত এবং ক্ষতির পরিমাণ উল্লেখযোগ্য ছিল না। কিন্তু উপরোক্ত ভূমিকম্পে যদিও ভাগ্যক্রমে Koyna বাঁধ ধ্বংসের কবল হইতে মুক্তি পাইয়াছে, তথাপি সমীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে এই ভূকম্পনজনিত ত্বরণ (Acceleration) বাঁধটির অক্ষপথে (along the dam axis) ও উহার উর্ধ্বাধ (Vertical) দিকে যথাক্রমে 0·39 g এবং 0·34 g ছিল এবং অনুভূমিক ত্বরণের মাত্রা ছিল 0·42 g, অথচ বাঁধ নির্মাণের সময়ে নিরাপত্তার জন্য মাত্র 0·05 g মানের দোলনের ব্যবস্থা রাখা হইয়াছিল। এই ভূমিকম্পের পর হইতে উপদ্বীপীয় অঞ্চলেও সমস্ত কারিগরী গঠন প্রকল্পের ভবিষ্যৎ পরিকল্পনায় ভূ-কম্পীয় সমীক্ষা বিশেষ স্থান পাইতেছে। Koyna বাঁধ এই ভূমিকম্পের দ্বারা বিশেষরূপে ক্ষতিগ্রস্ত না হইলেও বাঁধের প্রতিটি এককশিলা খণ্ড (Monolith block) গুরুতরভাবে সঞ্চালিত হইয়াছিল। ইহার প্রমাণ বাঁধের ভিত্তিস্থানের ও তৎসংলগ্ন পরীক্ষা প্রকোষ্ঠগুলির (Inspection galleries) সমীক্ষা করিয়া পাওয়া যায়। নদীবক্ষে অবস্থিত খণ্ডগুলির সংযোগস্থলের আস্তরণ খসিয়া পড়িয়াছিল এবং ফলে প্রকোষ্ঠগুলি হইতে ক্ষরণের মাত্রা বৃদ্ধি পাইয়াছিল। 26/27 এবং 27/28 সংখ্যার এককশিলা খণ্ডগুলি কিছুটা উত্তোলিত ও স্থানচ্যুত হইয়াছিল। ইহা নিম্নস্থ ব্যাসল্টের স্তরটির আকুঞ্চন (Buckling) জনিত বলিয়া অনুমান করা হয়। তবে ইহাও অনুমান করা হয় যে এই স্থানচ্যুতি 26 এবং 27 সংখ্যার খণ্ডগুলির ভিত্তিতলের পার্থক্য উদ্ভূতও হইতে পারে।

Logtak Project (**মণিপুর**)—মণিপুর রাজ্যে এইটিই প্রথম জলবিদ্যুৎ প্রকল্প এবং ভারতে ইহাই একমাত্র প্রচেষ্টা যাহার দ্বারা একটি অভিবিবর্তনিক (Tectonic) হ্রদের অতিরিক্ত জলের নিষ্কাশন দ্বারা বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন এবং সাথে সাথে হ্রদের জমির পুনরুদ্ধার এই বহুমুখী পরিকল্পনা করা হইয়াছে। এই প্রকল্পে কোন পৃথক বাঁধ নির্মাণ ও সংশ্লিষ্ট জলাধারের অবরুদ্ধ জলের সাহায্যে বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের পরিকল্পনার প্রয়োজন হয় নাই। মনিপুর উপত্যকা চারিদিকে নাতিউচ্চ পর্বতমালা দ্বারা বেষ্টিত এবং Logtak হ্রদটি এই উপত্যকার কেন্দ্রস্থল বরাবর অবস্থিত। পর্বতগুলি Disang Shales-এর গঠিত এবং উপত্যকার নীচু এলাকা অধুনা কল্পের (Recent era) পলিমাটিতে আচ্ছাদিত। গ্রীষ্মকালে এই হ্রদ প্রায় 47 বর্গকিলোমিটার জায়গায় বিস্তৃত থাকে,

কিন্তু বর্ষায় ইহার আয়তন বর্দ্ধিত হইয়া প্রায় 275 বর্গকিলোমিটার হয়। মনিপুর নদী এই হ্রদের পূর্ব পাড় দিয়া দক্ষিণদিকে প্রবাহিত হয় এবং এইস্থানে ইহার ঢাল অতি অল্প। কিন্তু Logtak হ্রদের এলাকার কিছু দূরে Suganu গ্রামের কাছে নদীবক্ষের উচ্চতা প্রায় সাত মিটার বেশী হওয়ায় এবং কঠিন ও সংবদ্ধ বালুশিলার উদ্‌ভেদ থাকায় নদীর গতিপথে প্রাকৃতিক প্রাচীরের সৃষ্টি হয়। এই বাধার ফলে নদীর জল হ্রদের দিকে পশ্চাদ্ধাবন করে এবং কয়েকটি প্রাকৃতিক ও মনুষ্যকৃত প্রণালীর দ্বারা হ্রদে প্রবেশ করে। এছাড়া Logtak হ্রদের আবহক্ষেত্র (Catchment area) প্রায় 6052 বর্গকিলোমিটার। এই প্রকল্পে Logtak হ্রদ হইতে প্রতি সেকেণ্ডে 39 ঘনমিটার জল প্রায় 4·1 কিলোমিটার দীর্ঘ একটি প্রবেশ প্রণালী ও 6·2 কিলোমিটার দীর্ঘ সুড়ঙ্গের মধ্য দিয়া প্রবাহিত করাইয়া Leimatak নদীর দক্ষিণতীরে অবস্থিত বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন কেন্দ্রে পৌঁছাইবার ব্যবস্থা করা হইয়াছে। মনিপুর নদী বর্মা রাজ্যের চিন্দুইন নদীর একটি শাখা এবং Leimatak নদী আসামের বরাক নদীর শাখা বিশেষ। সুতরাং এতদ্বারা এক অববাহিকার জল অপর এক অববাহিকায় উভয়ের মধ্যবর্তী প্রাকারস্বরূপ পর্বতমালায় সুড়ঙ্গ নির্মাণ করিয়া স্থানান্তরিত করার ব্যবস্থা করা হইয়াছে। Logtak হ্রদ হইতে এই বিদ্যুৎশক্তি কেন্দ্র প্রায় 312 মিটার নীচে এবং উপরোক্ত পরিমাণে জল নিষ্কাশন দ্বারা 70 মেগাওয়াট বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন হইবে। পরিকল্পনায় এই জলবিদ্যুৎ শক্তি উৎপাদন ছাড়া Logtak প্রকল্পের আশেপাশে মনিপুর উপত্যকায় প্রায় 192 বর্গকিলোমিটার এলাকায় জলসেচের সুযোগের ব্যবস্থাও করা হইয়াছে।

Itahi গ্রামের কাছে মণিপুর নদীতে 9·1 মিটার উঁচু একটি গতি-পরিবর্তনকারী ছোট বাঁধ (Diversion Weir) নির্মাণ করিয়া নদীর জল Logtak হ্রদে অনুপ্রবেশ করাইবার ব্যবস্থা করা হইয়াছে যাহাতে হ্রদের জলের লেভেল 769·6 মিটারে থাকে। এই প্রকল্পের সবগুলি কারিগরী গঠনই Dissang Shale শিলাস্তরের অথবা বেদীজাতীয় অবক্ষেপ ও পলিমাটির উপর নির্মিত হইতেছে। এই প্রকল্পের প্রধান সমস্যা নরম Disang Shale শিলাস্তরে সুড়ঙ্গ নির্মাণ করা, বিশেষতঃ এই শিলাস্তরগুলিতে অভিনত (Synclinal) ভাঁজ বিদ্যমান ও শিলাগুলি যথেষ্ট পরিমাণে বিদীর্ণ। সেই কারণে সুড়ঙ্গের মধ্যে ইস্পাতের ঠেস দিয়া উহার ছাদ ভাঙিয়া পড়ার বিপত্তি দূর করিবার ব্যবস্থা করা

হইয়াছে। সুড়ঙ্গ নির্মাণের সমস্যা ছাড়াও Leimatak নদীর দিকে পর্বতগাত্রে penstock-এর স্থাপনায়ও যথেষ্ট সমস্যা আছে কারণ এই পর্বতের ঢালের স্থায়িত্ব খুব ভাল নহে। এইজন্য উহার রক্ষাকল্পে ধারক-প্রাচীর (Retaining Wall) গাঁথা ও অন্যান্য কারিগরী ব্যবস্থা লওয়া হইয়াছে।

Chambal Valley Project (রাজস্থান)—এই উন্নয়ন প্রকল্পে দুইটি বাঁধ নির্মিত হইয়াছে। একটি জহর সাগর বা Kota বাঁধ নামে অভিহিত এবং অপরটির নাম রাণাপ্রতাপ সাগর। দুইটির মধ্যে শেষোক্ত বাঁধটি বিশেষ তাৎপর্যপূর্ণ এবং উহা নিম্নে বর্ণিত হইতেছে।

Ranapratap Sagar Dam—এই বাঁধের প্রকল্পে আবার দুইটি পৃথক বাঁধ নির্মিত হইয়াছে। মূল বাঁধটি Chambal নদীর উপরে গঠিত এবং ইহা একটি 57 মিটার উঁচু masonry বাঁধ। দ্বিতীয়টি মূল বাঁধের জলাধারের বাম প্রান্তের একটি খাঁজ (Saddle) দিয়া প্রবাহিত Padajar নালার উপর 21 মিটার উঁচু rock-fill বাঁধ। বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন গৃহটি মূল বাঁধটির বামদিকের পদপ্রান্তে (Toe) একটি 30 মিটার গভীর খাত খনন করিয়া উহার মধ্যে স্থাপনা করা হইয়াছে এবং বামদিকের abutment পাহাড়ের মধ্যদিয়া প্রায় 1·6 কিলোমিটার দীর্ঘ সুড়ঙ্গ নির্মাণ করিয়া বিদ্যুৎ-শক্তি উৎপাদনের পর মুক্ত জলরাশি (Tail-race water) Chulia জল-প্রপাতের downstream-এ Chambal নদীতে প্রবাহিত করার ব্যবস্থা করা হইয়াছে। মূল বাঁধটি অনেকগুলি খণ্ডে (Blocks) নির্মিত হইয়াছে এবং ভিত্তিস্থানে Vindhyan যুগের Kaimur Series-এর quartzitic বালুশিলা আছে, কিন্তু এই শিলাস্তরের উপরস্থ (Overlying) Rewa Shale ও বালুশিলা বাঁধের দুইপাশের abutment-এ বিদ্যমান। এই শিলাস্তরগুলি প্রায় অনুভূমিক অবস্থায় থাকায় এবং শেল পাথরগুলি জলে ভিজিলে প্রায় 30 শতাংশ ফুলিয়া উঠার প্রবণতা বিশিষ্ট হওয়ায় বাঁধের ভিত্তিস্থান বসিয়া যাওয়ার ও স্খলিত হওয়ার আশঙ্কা দেখা দেয়। নদীবক্ষে বাঁধের জল নিষ্কাশনের দরজা যেখানে নির্মিত হইয়াছে সেই জায়গা বরাবর প্রায় তিন মিটার গভীর একটি বিস্তৃত যন্ত্রীমণ্ডল দেখা যায় এবং ঐস্থানে clay জাতীয় চূর্ণীভূত বস্তুর সংস্তর থাকায় নির্মানকার্যে সমস্যার সৃষ্টি করে। নদীবক্ষে বহুশিলা উদ্‌ভেদ থাকিলেও abutment দুইটিতে শেলজাতীয় শিলাসমূহ বিশরিত হইয়া যাওয়ায় প্রায় ছয় মিটার পুরু অবঘাতের (Over-burden) দ্বারা উহারা আচ্ছাদিত আছে। দক্ষিণ abutment-এর

আড়াআড়িদিকে একটি ছিন্ন স্রংস (Tear fault) ধরণের যন্ত্রীমণ্ডল 44 সংখ্যার খণ্ডের (Block) নিকট দেখা গেছে। অতীতে বামদিকের abutment-টি উপর্যুপরি কয়েকবার বসিয়া যাওয়ার এবং খণ্ডবিশেষে স্খলিত হওয়ার নিদর্শন পাওয়া যায় এবং এই বিশেষত্ব বেশীর ভাগ ক্ষেত্রে Rewa Shale স্তরে নিবদ্ধ। বাঁধের নির্মাণস্থানে শিলাসংস্তরগুলি ভাঁজবিশিষ্ট এবং ভাঁজের অক্ষরেখা বাঁধের অক্ষরেখার সহিত আড়াআড়িভাবে আছে। ভাঁজ বাহুর (Limb of fold) শিলাস্তরগুলি দুইপাশের abutment-এর দিকে অল্প পরিমাণে নমিত। ভিত্তিস্থানে Kaimur Series-এর বালুশিলাস্তরগুলির মধ্যে clay-র সরু স্তরগুলি অধিকমাত্রায় সুঘট (Plastic) হওয়ায় এবং স্ফীতিপ্রবণতাবিশিষ্ট হওয়ায় অধিকমাত্রায় গভীর তলদেশ অবধি ঐ clay জাতীয় খনিজবস্তু খনন করিয়া অপসারিত করার পর grouting দ্বারা পূরণ করা হইয়াছে। ইহা ছাড়াও বাঁধের বামদিকের abutment হইতে পরিবাহের (Drainage) সুব্যবস্থা করার জন্য সুড়ঙ্গ নির্মাণ করা হইয়াছে এবং penstock-এর পরিগ্রহণ (Intake) এলাকায় abutment-এর ঢালগুলির স্থায়িত্বের ব্যবস্থা করা হইয়াছে। নদীবক্ষে বাঁধের ভিত্তিতলে শিলাস্তরগুলি অধিক মাত্রায় সন্ধিপূর্ণ এবং গভীর ফাঁকবিশিষ্ট হওয়ায় নির্মাণকার্য্যে সমস্যার সৃষ্টি করে। বিশেষতঃ Spillway হইতে প্রবলবেগে জলনিক্ষেপ কালে উহার পাদদেশে স্খলনের প্রবণতা খুব বেশী হওয়ার আশঙ্কায় ঐ জায়গায় grouting দ্বারা শিলাখণ্ডগুলিকে সুসংবদ্ধ করা হইয়াছে। Saddle বাঁধটি Rewa Shale-এর উপর নির্মিত হইয়াছে এবং এই শিলাস্তরগুলি অধিকমাত্রায় সন্ধিপূর্ণ ও বিশরিত থাকায় বেশ গভীর তলদেশ অবধি খননের দ্বারা এই চূর্ণীভূত পাদশীলা অপসারণ করিয়া শূন্যস্থান বর্দ্ধিতমাত্রায় grouting দ্বারা পূরণ করা হইয়াছে যাহাতে জলক্ষরণের কোনরূপ সম্ভাবনা না থাকে।

Gumti Project (ত্রিপুরা)—ত্রিপুরা একটি ছোট পর্বতবহুল রাজ্য এবং Gumti Project-ই এই রাজ্যের প্রথম বহুমুখী প্রকল্প। গুমতী নদীতে বাঁধ নির্মাণের দ্বারা বন্যানিয়ন্ত্রণ, জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদন ও সেচের ব্যবস্থা করা এই প্রকল্পের মুখ্য উদ্দেশ্য। বাঁধটির স্থান ত্রিপুরার রাজধানী আগরতলা হইতে প্রায় 112 কিলোমিটার দূরে গুমতী নদীর উপরে Dumbura জলপ্রপাতের নিকট নির্ধারিত হইয়াছে। প্রকল্পানুযায়ী ইহা 30·18 মিটার উঁচু কংক্রীটের Gravity বাঁধ হিসাবে গঠিত হইতেছে।

বাঁধটির নির্মাণস্থানে Upper Surma Series-এর সূক্ষ্মদানা বিশিষ্ট ন্ময় (Argillaceous) বালুশিলা এবং শেল পাথর বিদ্যমান। এই বালুশিলা ও শেলশিলা স্তরগুলি প্রশস্ত উর্ধ্বভাঙ্গিক (Anticlinal) ভাঁজবিশিষ্ট। নিকটে বা আশেপাশে কোন কঠিন শিলার উৎস না থাকায় কংক্রীট বা rock-fill বাঁধ নির্মাণের পরিকল্পনা করা সম্ভব হয় নাই। সেই কারণে বাঁধের কেন্দ্রস্থানটি ইষ্টক নির্মিত হইবে এবং তাহার সকল পাশে কংক্রীটের আচ্ছাদনস্তর গাঁথিয়া দেওয়া হইবে। এই স্থানে গুমতী নদী একটি গভীর ও সংকীর্ণ গিরিখাতের মধ্য দিয়া পশ্চিম দিকে প্রবাহিত হইতেছে। বাঁধটির ভিত অপেক্ষাকৃত নরম বালুশিলার উপর গাঁথা হইয়াছে। এই বালুশিলার ভারবহন শক্তি কম এবং প্রবেশ্যতার মান উঁচু ও জলমগ্ন অবস্থায় বিশরণের প্রবণতা খুব বেশী। অবশ্য নির্মাণস্থানে শিলাস্তরগুলির upstream দিকে নতি থাকায় জলাধার হইতে ক্ষরণের আশঙ্কা নাই, কিন্তু অনুদৈর্ঘ্যের দিক হইতে এবং কয়েকদিকে সন্ধিসমূহ থাকায় ও সেগুলি একে অপরকে প্রতিচ্ছেদ করায় ঐ সকল স্থান হইতে ক্ষরণের সম্ভাবনা দেখা দেয়। সুতরাং ভিত্তিস্থানটিকে নিশ্ছিদ্র ও একক-শিলায় (Monolith) পরিণত করার জন্য নিম্নচাপে grouting-এর দ্বারা দৃঢ়ীভবণ করা হইয়াছে। আচ্ছাদনস্তর বাঁধের নিম্নদেশে 4·57 মিটার পুরু হইবে এবং upstream ও downstream দিকে উহা যথাক্রমে 2·14 মিটার ও 0·91 মিটার হইবে। নদীবক্ষে দৃঢ় চূর্ণকময় বালুশিলার অনুস্তরণ (Concretion) ও সাল (Boulder) পাওয়া যায়। তবে এই-গুলির পরিমাণ অল্প হওয়ায় কংক্রীটের aggregate হিসাবে এই সকল প্রস্তরখণ্ড ও উচ্চ তাপে দগ্ধ ইষ্টক টুকরা ব্যবহৃত হইতেছে।

প্রথমে spillway বাঁধের দক্ষিণ abutment-এর দিকে নির্মাণের প্রকল্প করা হইয়াছিল। কিন্তু ঐ দিকে পাহাড়ের ঢালের স্থায়িত্ব অনিশ্চিত বিবেচনায় spillway-র নির্মাণস্থান বাম তীরে স্থির করা হইয়াছে। তবে বিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের জন্য বাঁধের জলাধার হইতে 2380 মিটার দীর্ঘ একটি প্রণালী ঐ দক্ষিণ দিকের পাহাড়ের খাড়াই ঢালের পাদদেশ দিয়া নির্মিত হইতেছে। এই দীর্ঘ প্রণালীর কতকাংশ শেল পাথরের উপর ও অপরাংশ বালুশিলার উপর থাকিবে এবং শেল পাথরের উপরে নির্মিত প্রণালীটি আচ্ছাদিত করা হইতেছে।

Banihal Tunnel Project (জম্মু ও কাশ্মীর)—আমাদের দেশে স্বাধীনতালাভের পরে বেশ কয়েকটি বড় এবং উল্লেখযোগ্য সুড়ঙ্গ

নির্মাণের প্রকল্প করা হয়। তন্মধ্যে Banihal (Jawahar) Tunnel এবং হিমাচল প্রদেশের Beas-Sutlej Link Tunnel বিশেষ স্থান পায়। শেষোক্ত প্রকল্পটি ইতিপূর্বেই বর্ণিত হইয়াছে। এই দুইটি সুড়ঙ্গ নির্মাণের পূর্বে উপযুক্ত স্থান নির্ধারণের জন্য যথেষ্ট পরিমাণে ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষা চালান হয়। ইহা ছাড়া জলবিদ্যুৎশক্তি উৎপাদনের প্রয়োজনে আরও অনেকগুলি সুড়ঙ্গের স্থান নিবাচনের প্রয়োজন হয় ও সেই ব্যাপারে কারিগরী ভূবিদ্যা বিশেষজ্ঞের অবদান খুবই গুরুত্বপূর্ণ। সুড়ঙ্গ নির্মাণের জন্য প্রয়োজনীয় ভূতাত্ত্বিক অনুসন্ধান সম্বন্ধে সপ্তম অধ্যায়ে বিশদরূপে আলোচনা করা হইয়াছে। এক্ষণে Banihal Tunnel সম্বন্ধে সংক্ষেপে ইহার চরিত্রের বিশেষ উল্লেখযোগ্য কয়েকটি বিষয় আলোচনা করা হইতেছে। এই সুড়ঙ্গটি সমুদ্র পৃষ্ঠ (Sea level) হইতে প্রায় 2197 মিটার উঁচু এবং Pir Panjal পর্বতের মধ্য দিয়া নির্মাণ করা হইয়াছে। ইহার কিছু উপরেই ঐ স্থানে শীতকালীন হিমরেখার (Snow line) অবস্থান। সুড়ঙ্গটি দুইটি পৃথক tube-এ বিভক্ত, একটির কেন্দ্রস্থল অপরটির কেন্দ্র-স্থল হইতে প্রায় 21·21 মিটার দূরে। দুইটি tube-এর দ্বারা একই সময়ে উভয়দিকে (up and down) জম্মু হইতে শ্রীনগর যাতায়াতের সুবিধা হইয়াছে। Tube গুলি উচ্চতায় 5·6 মিটার এবং প্রস্থে 5·0 মিটার, আকারে ঘোড়ার ক্ষুরের (Horse-shoe shaped) মতন। Tube দুইটির একটি 2539 মিটার দীর্ঘ এবং অপরটি 2546·7 মিটার। সুড়ঙ্গটি Upper Carboniferous এবং Permian যুগের শিলাসংস্তরের মধ্য দিয়া নির্মিত হইয়াছে। এই শিলাসংস্তরগুলি হইল Agglomeratic Slates, Panjal Trap এবং Zeewan Limestones। শেষোক্তটির মধ্যে অল্প পরিমাণে শেল এবং quartzite পাথরের বিস্তর (Bands) আছে। এই সুড়ঙ্গের সর্বাধিক অংশ কঠিন ও সংহত trap শিলার মধ্যে অবস্থিত। Panjal Trap অংশের বেশীর ভাগ কোনরূপ আস্তরণ দ্বারা আচ্ছাদিত হয় নাই, তবে এই অংশে Overbreak বেশী পরিমাণে করিতে হইয়াছে। সুড়ঙ্গের বাকী অংশে কংক্রীটের আস্তরণ দেওয়া হইয়াছে এবং Terzaghi-র সূত্রানুসারে সুড়ঙ্গের বিভিন্ন অংশে আস্তরণের স্থূলতা নিরূপণ করা হইয়াছে। Trap শিলার অনাচ্ছাদিত অংশের কয়েকস্থান হইতে অধিক পরিমাণে জলক্ষরণ হয়। যেহেতু সুড়ঙ্গটি ভূ-কম্পীয় এলাকাধীন, সেই কারণে ইহার প্রবেশদ্বারগুলির উপযুক্তভাবে দৃঢ়ীকরণ ব্যবস্থা লওয়া হইয়াছে। তাহা ছাড়া শিলাস্তরগুলির কোনরূপ ঈষৎ নড়াচড়া বা

চ্যুতিজনিত স্খলন যাহাতে না হয় সেজন্য articulated joints ও copper seals-এর অভিনব পন্থা অবলম্বন করা হইয়াছে। এইরূপ ব্যবস্থা দ্বারা শিলাস্তরগুলির কোনরূপ অসমান সঞ্চালন বশতঃ সুড়ঙ্গের কাট ধরা দূর হইবে। ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষার দ্বারা জানা যায় যে এই স্থানের শিলাগুলি অতিশয় ভাঁজ খাইয়াছে এবং কয়েকটি উৎক্রম (Thrust) ও বিপরীত চ্যুতি (Reverse fault) তল এই সুড়ঙ্গের alignment-কে অতিক্রম করিয়াছে। এই কারণে ইহার নির্মাণকালে উপযুক্ত ঠেসের ব্যবস্থা করা হয় এবং grouting করিয়া দুর্বলসন্ধিপূর্ণ স্থানগুলিকে, বিশেষতঃ উৎক্রম তলগুলিকে অধিকতর সুদৃঢ় করা হয়। উপযুক্ত আস্তরণের দ্বারা সুফল পাওয়া গিয়াছে যদিও বিভিন্ন অংশের শিলা রগুলি এই কাজে বিবিধ সমস্যার সৃষ্টি করে।

চতুর্দ্দশ অধ্যায়

ভারতের কয়েকটি নির্ব্বাচিত ভূজলের পরিকল্পনার সংক্ষিপ্ত বিবরণী

পূর্বেই পঞ্চম অধ্যায়ে কারিগরী ভূবিদ্যার অধ্যয়নে ভূজলের স্থান ও তাহার মাপ নির্ণয় সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা করা হইয়াছে। এই অধ্যায়ে আমাদের দেশে সেচের জন্য, শিল্পে এবং পানীয় ও গৃহস্থালীর কাজে ব্যবহারের প্রকল্পে ভূজলের অনুসন্ধান ও ফলাফল সম্বন্ধে সংক্ষেপে আলোচনা করা হইতেছে।

ভূজল ভূতাত্ত্বিকের ভাষায় একটি খনিজ বস্তু (Mineral), কিন্তু অন্যান্য খনিজ বস্তুর সহিত ইহার পার্থক্য এই যে ইহা আহরণ করিলে নিঃশেষিত না হইয়া সারা বৎসরে ইহার ভাণ্ডারের পুনঃপূরণ হয়, তবে এই পুনঃপূরণ সম্পূর্ণ না হইতেও পারে কারণ বৃষ্টিপাতের পরিমাণ এবং উপরিস্থ মৃত্তিকার প্রবেশ্যতার উপর ইহা প্রধানতঃ নির্ভরশীল। অবশ্য অনেকক্ষেত্রে নদীর জল নিম্নস্থ ভূজলের ভাণ্ডারে অন্তর্বাহী হওয়ায় পুনঃপূরণ অনেকটা সাধিত হয়। তবে দুর্ভাগ্যবশতঃ অনাবৃষ্টির ফলে, বিশেষতঃ উহা যদি কয়েক বৎসর উপর্যুপরি ঘটে, সেক্ষেত্রে এই ভূজলের ভাণ্ডার একেবারে শূন্য হইয়া যাইতে পারে। ভারতবর্ষে মহেঞ্জোদারো (Mohenjodaro) সভ্যতার যুগে অর্থাৎ প্রায় পাঁচ সহস্রাধিক বৎসর আগে হইতে কূপখনন করিয়া জল সরবরাহের ব্যবস্থা ছিল এবং সেই সময় হইতেই এই প্রথা কার্য্যকরী হইয়া আসিতেছে। তবে আমাদের দেশে ভূজল আর্টেজীয় (Artesian) অবস্থায় আছে কি না এবং থাকিলে উহার আহরণ সম্বন্ধে সমীক্ষা 1804 খ্রীষ্টাব্দে প্রথম আরম্ভ হয় এবং বাস্তবিকপক্ষে দেশে উহাকেই ভূজলবিজ্ঞানসম্মত (Geohydrological) অধ্যয়নের সূচনা বলিয়া গণ্য করা যাইতে পারে। এই ব্যাপারে সর্বপ্রথম ভূছিদ্র কলিকাতায় গাঙ্গেয় পাললিক ভূমিতে করা হয় এবং পরে আরও চব্বিশটি ভূছিদ্র (তন্মধ্যে কয়েকটি 150 মিটারের অধিক গভীর) করা হয়। এই সকল পরীক্ষার দ্বারা দেখা যায় যে যদিও আর্টেজীয় অবস্থায় জল আহরণের সম্ভাবনা এই অঞ্চলে নাই বলিলেই চলে, তথাপি

sub-artesian অবস্থাভুক্ত প্রচুর ভূজল এই এলাকা হইতে পাম্পের সাহায্যে আহরণ করা সম্ভব হইবে। 1851 খ্রীষ্টাব্দে জিওলজিকাল সার্ভে অফ ইণ্ডিয়া সংস্থানটি স্থাপিত হইবার পর ইহা বহুস্থানে ভূজলের অনুসন্ধান করে তবে সেইগুলি সাধারণত: স্থানীয় চাহিদা মিটাইবার জন্য করা হয়। বিংশ শতাব্দীর প্রথম দশকে গাঙ্গেয় পাললিক ভূমির বহুস্থানে অগভীর ভূছিদ্র করিয়া স্থানীয় ভূজলঘটিত তথ্য আহরিত হয়। ঐ সময়ে রাজস্থানের বিকানীর স্বাধীন রাজ্যের এলাকাধীন অঞ্চলেও এই বিষয়ে সমীক্ষা করা হয়। পরে গুজরাটে এবং মহারাষ্ট্রের Bhusaval-এ (1921 খ্রীষ্টাব্দে) ও আরও কয়েকটি স্থানে Deccan Trap অধিকৃত এলাকায় ভূজলের প্রাপ্তি সম্ভাবনার সমীক্ষায় লাভা প্রবাহের (Lava flows) মধ্য দিয়া গভীর ভূছিদ্র করা হয় কিন্তু সুফল পাওয়া যায় নাই। Dhandhuka-র নিকটে প্রায় 585 মিটার গভীর ভূছিদ্র করা হইয়াছিল এবং যে সকল স্থানে এই ভূছিদ্রগুলি লাভা প্রবাহের নিম্নস্থ বালুশিলাস্তর ভেদ করিতে সমর্থ হইয়াছিল সেই সকল স্থানে দুর্ভাগ্যবশত: লবণাক্ত জল পাওয়া যায়। আর লাভা প্রবাহগুলি খুব বেশী ছিদ্রপূর্ণ (Vesicular) থাকা সত্ত্বেও প্রায় জলশূন্য দেখা যায়।

সারাদেশে 114 সেণ্টিমিটার বাৎসরিক গড়পড়তা বৃষ্টিপাতের হিসাব হইতে ইহা অনুমান করা হইয়াছে যে সারা বৎসরে প্রায় 801 billion ঘন মিটার বৃষ্টির জল ভূপৃষ্ঠে মৃত্তিকার মধ্যে অনুপ্রবেশ করে। তন্মধ্যে প্রায় 431 billion ঘন মিটার জল মৃত্তিকার উপর ভাগ জলবাষ্পের আকারে ধরিয়া রাখে এবং তদ্বারা উদ্ভিদের জন্ম হয় ও বৃদ্ধি পায়। অবশিষ্ট 370 billion ঘন মিটার জল ভূতলে অন্তর্স্রাবী হয় ও ভূজলের ভাণ্ডারকে পুন:পূরণ করে। ভারতবর্ষে ভূজলের আধার 305 মিটার অবধি গভীর এই অনুমানে হিসাব করিয়া দেখা গিয়াছে যে উহার সর্বমোট জলধারণের পরিমাণ প্রায় 37,000 billion ঘন মিটার হইবে অর্থাৎ সারা দেশে বাৎসরিক গড়পড়তা বৃষ্টিপাতের পরিমাণের দশগুণ। হিসাবে দেখা গিয়াছে যে সারা দেশে সেচের প্রয়োজনীয় জলের এক-চতুর্থাংশ কূপ হইতে সংগ্রহ করা হয় অর্থাৎ মাত্র 22 billion ঘন মিটার ভূজলের ব্যবহার এই কাজে লাগে। ইহা হইতে দেখা যায় যে প্রভূত ভূজল সম্পদ বিনা ব্যবহারে মজুদ থাকে। 1936 খ্রীষ্টাব্দে দেশে সর্বপ্রথম নলকূপের সাহায্যে ভূজল উত্তোলন করিয়া বৃহৎ জলসেচ প্রকল্প "Ganga Valley State Tubewell Irrigation Scheme" প্রবর্তন করা হয় এবং

এই প্রকল্পানুযায়ী উত্তরপ্রদেশে 1500 নলকূপের (প্রতিটি নলকূপ হইতে সেকেণ্ডে 0·04 ঘন মিটার জল উত্তোলন করিয়া) দ্বারা প্রায় 33,670 বর্গ কিলোমিটার জমিতে সেচের ব্যবস্থা করা হয়। এই সময় বরাবর পাঞ্জাবে এবং উত্তরপ্রদেশের উত্তর ও পশ্চিমাঞ্চলে ভূজলের সঠিক পরিমাণ নিরূপণের জন্য কয়েকটি সংস্থার দ্বারা সমীক্ষা চালান হয়, কিন্তু দেশ স্বাধীনতা লাভের পর হইতে এই কাজ ধারাবাহিকভাবে আরম্ভ হয়। ঐ সময়ে দেশের বিভিন্ন নদীবক্ষে বাঁধ নির্মাণের বিরাট পরিকল্পনার সাথে সাথে ভূজলের পরিমাণ নিরূপণের আবশ্যকতাও বিশেষভাবে উপলব্ধি করা হয় এবং দেশের কয়েকটি নির্বাচিত রাজ্যে এই বিষয়ে অধিকমাত্রায় সমীক্ষা আরম্ভ হয়। পঞ্চাশ দশকের গোড়ার দিকে U. S. Technical Assistance প্রকল্পানুযায়ী পাঞ্জাব হইতে বিহারের মধ্যে গাঙ্গেয় পাললিক ভূমিতে 2,650 নলকূপ পাম্প বসান হয় এবং তদ্বারা 161,900 hectare জমিতে জলসেচ করা হয়। কিন্তু সারাদেশে ভূজলের সম্ভবনীয়তা নির্ণয়ের জন্য Indo-U. S. Technical Co-operation Programne অনুযায়ী জিওলজিকাল সার্ভে অফ ইণ্ডিয়া প্রাথমিক পর্য্যায়ের অনুসন্ধানকার্য্যের দ্বারা কোন কোন স্থানে বিস্তারিত সমীক্ষার প্রয়োজন তাহা স্থির করে এবং অনুসন্ধানকার্য্য পূর্ণোদ্যমে চালান হয়। এই অনুসন্ধানকার্য্যের দ্বারা অর্জিত ফলাফল বিশ্লেষণ করিয়া দেশের বহুস্থানের ভূজলের সম্ভবনীয়তা সম্বন্ধে সঠিক ধারণা করা সম্ভব হয় এবং উহার ব্যবহার সম্বন্ধে সুপারিশ করা হয়।

পূর্বেই বলিয়াছি যে ভূজল সেচ, শিল্পোন্নয়ন, পানীয় এবং গৃহস্থালীর কাজে ব্যবহারের জন্য পরিকল্পনা করা হয়, কিন্তু এই সকল বিভিন্ন প্রকারের ব্যবহারের জন্য উহার গুণাগুণ সম্বন্ধে সঠিক ধারণার বিশেষ প্রয়োজন। সুতরাং কেবল পরিমাণ নির্ণয় ছাড়া ভূজলের প্রাকৃতিক (ভৌতিক) ও রাসায়নিক গুণাগুণ সম্বন্ধেও সমীক্ষা করা হয়। সমীক্ষার দ্বারা যে সকল তথ্য আহরণ করা হইয়াছে তাহার উপর ভিত্তি করিয়া জিওলজিকাল সার্ভে অফ ইণ্ডিয়া অনেকগুলি রাজ্যের জলপীঠের (Water-table) সমোন্নতি-মানচিত্র (Contour map) প্রস্তুত করিয়াছে। ভূজলে কিছুটা লবণাক্ত বস্তু সর্বদাই বিদ্যমান এবং ইহার উৎপত্তি শিলাখণ্ডসমূহের ক্ষয়প্রাপ্তির সহিত জড়িত। আগ্নেয়শিলা হইতে এই লবণাক্ত বস্তু অতি অল্পই সংগৃহীত হয়, কিন্তু পাললিক শিলার দ্রবণীয় (Soluble) অংশ ভূজলে দ্রবীভূত (Dissolved) হওয়ায় লবণাক্ত বস্তুর মাত্রা বৃদ্ধি

করে এবং অনেকক্ষেত্রে ইহা এত অধিক পরিমাণে থাকে যে ঐ কারণে সংশ্লিষ্ট ভূজল ব্যবহারের অযোগ্য হইয়া পড়ে। অবশ্য অনেকস্থলে সমুদ্রের জল, উষ্ণ প্রস্রবণের জল, এমনকি সার (Fertiliser) মিশ্রিত জল ভূজলের সহিত সংমিশ্রণে উহাকে লবণাক্ত করে। ভূজল বদ্ধ ও অপ্রবহমান অবস্থায় থাকিলে উহার লবণাংশ বৃদ্ধি পায়। উপরোক্ত সমোন্নতি-মানচিত্রগুলিতে এইরূপ লবণাক্ত ভূজলের সীমানা নির্দেশিত হইয়াছে। এই ভূজলের মানচিত্র প্রস্তুতকার্য্যে দেশকে কয়েকটি ভাগে বিভক্ত করা হয়। ভূজলের সমীক্ষা শিলাসংস্তরের বিভিন্ন প্রকৃতি অনুযায়ী যথা—(A) কঠিন ও দৃঢ় সংবদ্ধ শিলাময় অঞ্চল; (B) অল্প কঠিন শিলা বিশিষ্ট এলাকা; (C) বায়ুতাড়িত বালুকাময় (Wind-blown sand) এলাকা; এবং (D) পাললিক মৃত্তিকাবহুল স্থানগুলিতে পৃথকভাবে করা হয়। ইহা ছাড়া দেশের উপকূল অঞ্চলেও ভূজলের অনুসন্ধানকার্য্য সমাধা করিয়া বহুবিধ তথ্য আহরণ করা হয়। উপরোক্ত বিভিন্ন এলাকায় দেশকে ভাগ করিয়া সমীক্ষা চালাইবার মূল কারণ এই যে ভূজলের পরিমাণ ও তাহার গুণাগুণ ঐ সকল বিভিন্ন অঞ্চলগুলিতে ভিন্ন ভিন্ন মানের হয়। এখন ভারতবর্ষের যে সকল স্থানে ভূজলের অনুসন্ধান বিস্তারিতভাবে করা হইয়াছে তাহাদের মধ্যে উল্লেখযোগ্য কয়েকটির বর্ণনা করা হইতেছে।

A. কঠিন ও দৃঢ়সংবদ্ধ শিলাময় (Hard Rock) অঞ্চল

ভারতের স্থলভাগের বেশ একটা বড় অংশ এই জাতীয় শিলাসংস্তর দ্বারা আচ্ছাদিত। এই অংশে ভূজলের সম্ভাবনা স্বভাবতঃ খুবই কম, তথাপি শিলা-গুলির ফাটলে এবং বিশরিত শিলার উপরিস্থ পুরু আস্তরণে কিছু পরিমাণে ভূজল সঞ্চিত হয়। রাজস্থান, উত্তরপ্রদেশ, বিহার, মধ্যপ্রদেশ, Deccan Trap আবৃত মধ্য ও দক্ষিণ ভারত, তামিলনাড়ু, কর্ণাটক এবং কেরালা রাজ্যের বিস্তৃত অংশ এই পর্য্যায়ভুক্ত।

রাজস্থান—এই রাজ্যের উদয়পুর এবং চিতোরগড় জেলার কিছু অংশে বিচূর্ণীভূত (Weathered) শিলাসংস্তর হইতে পরিমিত মানে ভূজল সংগ্রহের সম্ভাবনা আছে, কিন্তু ঐ জল ক্ষারযুক্ত। ভিলওয়াড়া জেলাতেও অধুনাকল্পের (Recent era) পাললিক অবক্ষেপে ভূজলের সম্ভাবনা আছে, বিশেষতঃ Banas এবং Kothari নদীর পার্শ্বস্থ পাললিক ভূমি হইতে ভূজল সংগ্রহের আশা খুব উজ্জ্বল। আজমীর জেলায় Mashi, Dai এবং

Rupnagar নদীর আবহক্ষেত্রে granite ও schist জাতীয় শিলাসংস্তরের ফাটলে ও উপরিস্থ বিচূর্ণীভূত আস্তরণে ভূজল সঞ্চিত থাকে তবে উহার পরিমাণ খুব বেশী নহে।

উত্তরপ্রদেশ—এই রাজ্যে Bundelkhand granite নামে অভিহিত শিলাসংস্তর দ্বারা অধিকৃত বান্দা, ঝাঁসী ও হামিরপুর জেলার অংশবিশেষের ভূজল শিলাসমূহের ফাটলের মধ্যে সঞ্চিত থাকে এবং অপেক্ষাকৃত বৃহৎ ব্যাসের কূপের সাহায্যে সংগৃহীত হইয়া এই জল সেচের কাজে ও গৃহস্থালীর জন্য ব্যবহৃত হয়। Vindhyan বালুশিলা ও quartzites অধিকৃত অঞ্চলগুলিতেও ঐরূপ অবস্থা তবে স্থলাকৃতিপ্রসূত গভীর অবনমিত অঞ্চলসমূহ যেখানে পাললিক মৃত্তিকাদ্বারা পূরিত হইয়াছে সেইসকল এলাকায় পরিমিত মাপে নলকূপের সাহায্যে ভূজল সংগ্রহের সম্ভাবনা আছে।

বিহার—দক্ষিণ বিহারের প্রায় সকল জায়গা শিলাময় হওয়ায় বর্দ্ধিত মানে ভূজলের সংগ্রহের আশা কম, বিশেষতঃ নলকূপের সাহায্যে।

মধ্যপ্রদেশ—এই রাজ্যেও কঠিন ও দৃঢ়সংবদ্ধ শিলাময় অঞ্চলে সেচ অথবা শিল্পোন্নতির কাজে ব্যবহারের জন্য ভূজলের প্রাপ্তির আশা খুবই কম।

মধ্য ও দক্ষিণভারত—ভারতের এই এলাকার যে অংশ Deccan Trap শিলাদ্বারা আবৃত, সেইস্থানে Inter-trappean শিলাগঠনসমূহে অল্প পরিমাণে ভূজলের সঞ্চয় হয় কিন্তু স্থানীয় প্রয়োজনে সীমিত ব্যবহার ব্যতিরেকে ইহার বিকাশের কোন সম্ভাবনা নাই।

তামিলনাড়ু—এই রাজ্যের প্রায় সমস্ত অংশই আর্কীয় (Archaean) যুগের শিলাসংস্তর দ্বারা অধিকৃত থাকায় ঐসকল শিলাগঠনগুলির উপরিস্থ বিচূর্ণীভূত ভাগে ভূজল সঞ্চিত হইয়া থাকে। এই বিচূর্ণীভূত আস্তরণের গভীরতা বিভিন্নস্থানে ভিন্ন মানের হয় এবং সেই অনুসারে সঞ্চিত ভূজলের পরিমাণও ভিন্ন হয়। কয়েকটি জেলায় যথা Coimbatore ও Tirru-velli-তে ভূজলের ব্যবহার সেচের জন্য সম্ভব।

কর্ণাটক—এই রাজ্যে ভূজলের প্রাপ্তির আশা খুবই সীমিত।

কেরালা—পালঘাট জেলার Chittur taluk-এ অনুসন্ধান করিয়া দেখা গিয়াছে যে বিচূর্ণীভূত schist শিলাগুলি কতকাংশে কূপের সাহায্যে ভূজল সরবরাহ করিতে সক্ষম।

B. অর্ধকঠিন (Semi-Consolidated) শিলাবিশিষ্ট অঞ্চল

দেশের বৃহৎ এলাকায় সংঘাত (Clastic) অথবা পাললিক (Sedimentary) শিলাসমূহ বিস্তৃত আছে এবং ঐগুলি বিশেষ সংবদ্ধ নহে। ফলে ঐ সকল শিলা বহুল পরিমাণে সরন্ধ্রতাবিশিষ্ট ও গহ্বরযুক্ত হওয়ায় ভূজলের আধার হিসাবে গণ্য হয় এবং উহাদের ভূজল সঞ্চয়ের ক্ষমতাও খুব বেশী। ভূতাত্ত্বিক সমীক্ষার দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে ঐরূপ শিলাবিশিষ্ট এলাকাগুলিতে ভূজলের সম্ভবনীয়তা ও উহার বিভিন্ন কাজে ব্যবহারের সম্ভাবনা খুব আশাপ্রদ। অন্ধ্রপ্রদেশ, গুজরাট, তামিলনাড়ু, পশ্চিমবঙ্গ ও রাজস্থানের অনেকাংশে এইরূপ সম্ভাবনা বেশ উজ্জ্বল।

অন্ধ্রপ্রদেশ—এই রাজ্যের পূর্ব ও পশ্চিম গোদাবরী জেলার এবং কৃষ্ণা জেলার Nuzvid taluk-এ Tertiary এবং Upper Gondwana যুগের শিলাগঠনসমূহে ভূগর্ভে বেশ কয়েকটি জলবাহীস্তর (Aquifer) বিভিন্ন বেধে (Depth : 60 হইতে 120 মিটার) আছে এবং এইগুলি হইতে যথেষ্ট পরিমাণে নলকূপের সাহায্যে ভূজল সংগ্রহের সম্ভাবনা দেখা যায়। পূর্ব গোদাবরী জেলার Rajol-এর দক্ষিণে নলকূপে ভূজল আপনা থেকে ভূপৃষ্ঠে উঠিয়া আসে এবং ইহার দ্বারা ঐ স্থানে sub-artesian অবস্থা বিদ্যমান ইহাই প্রতীয়মান হয়।

গুজরাট—গুজরাটের Zalawad জেলায় Umia শ্রেণীর (Jurassic) বালুশিলাগুলিতে যথেষ্ট পরিমাণে ভূজলের সঞ্চয় হয় এবং 150 হইতে 300 মিটার গভীর aquifer-গুলি হইতে নলকূপের সাহায্যে পরিমিত মানে জলোত্তোলন করিয়া ঐ জল বিভিন্ন কল্পে ব্যবহার করা যায়। কচ্ছ জেলার Bhuj বালুশিলা গঠনগুলি (Jurassic) খুব বেশী জলবাহী এবং এই জলবাহীস্তরগুলি ভূতলে পরস্পরের সহিত সংযুক্ত থাকায় ভূগর্ভে একটি বৃহদাকার জলাধার সৃষ্টি করিয়াছে। এই এলাকার ভূজলের ব্যবহারের বিস্তারলাভের যথেষ্ট সম্ভাবনা আছে। Katrol শ্রেণীর (Jurassic) অপেক্ষাকৃত নরম বালুশিলা স্তরগুলি হইতেও ভূজলের পরিমিত মানে সংগ্রহের সুযোগ আছে।

তামিলনাড়ু—এই রাজ্যের কতকাংশে Cuddalore কালের বালুশিলাগুলিতে বেশ কয়েকটি সু-নির্ধারিত aquifer জলপীঠে ও পৃথক অবরুদ্ধভাবে এই উভয় অবস্থাতেই আছে এবং aquifer-গুলির পশ্চিম দিক হইতে উহাদের পুনঃপূরণের সুবিধা আছে। এই এলাকার 55 হইতে 245 মিটার গভীর অবরুদ্ধ (Confined) aquifer-গুলি হইতে নলকূপের

জন্য উপযুক্ত মানের ভূজলের সংগ্রহ ও যথেষ্ট পরিমাণে সেচের এবং পুষ্করিণীর কাজে ব্যবহারের সম্ভাবনা খুব উজ্জ্বল।

পশ্চিমবঙ্গ—মেদিনীপুর জেলার খড়্গপুর—হিজলী এলাকায় উঁচু জায়গাগুলিতে Upper Tertiary পললসমূহ (Sediments) laterite-এ রূপান্তরিত হইয়াছে এবং নিম্নস্থ বালুবিশিষ্ট স্তরে ভূজল সঞ্চিত হওয়ায় উহা একটি aquifer হিসাবে গণ্য হয়। এই aquifer হইতে পরিমিত মানে জল সংগ্রহের সম্ভাবনা বিদ্যমান।

রাজস্থান—এই রাজ্যের উত্তরে এবং উত্তর-পশ্চিমে অবস্থিত জেলাগুলির দুই লক্ষাধিক বর্গ কিলোমিটার এলাকায় ভূছিদ্রের দ্বারা অনুসন্ধানে নিম্নলিখিত জায়গাগুলিতে যথেষ্ট পরিমাণে নলকূপ দ্বারা ভূজল সংগ্রহের সম্ভাবনা দেখা গিয়াছে।

(i) Chandan (Jaisalmer জেলা)—এই স্থানে Lathi শ্রেণীর বালুশিলা (Jurassic) স্তরের প্রায় 150 মিটার দানাবিশিষ্ট (Granular) অংশ ভূজলের একটি অফুরন্ত ভাণ্ডার বলিয়া বিবেচিত হয় এবং নলকূপের সাহায্যে এই ভূজল সংগ্রহের কাজ যথেষ্ট বিস্তারলাভ করিয়াছে।

(ii) Bhotia (Barmer জেলা)—অল্প পরিসর জায়গায় এই স্থানে Tertiary যুগের পললসমূহে যে ভূজলের সঞ্চয় হয় তাহা পরিমিত মানে নলকূপের সাহায্যে 115 মিটার গভীর aquifer-গুলি হইতে সংগ্রহের সম্ভবনীয়তা আছে, কিন্তু জলের গুণাবলী বিশেষ সুবিধাজনক নহে।

(iii) Sikar (Sikar জেলা)—এই স্থানে ভূনিম্নে প্রায় 126 মিটার ভূছিদ্র করিয়া উহার মধ্যে 20 মিটার মোটা একটি দানাদার জলবাহী স্তরের সন্ধান পাওয়া গিয়াছে যাহা হইতে পরিমিত মানে নলকূপের সাহায্যে জল সরবরাহ সম্ভব।

C. বায়ুতাড়িত বালুকাময় (Wind-blown sand) অঞ্চল

পশ্চিম রাজস্থানের Barmer, Bikaner, Churu, Jaisalmer এবং Sikar জেলার বেশ বিস্তৃত এলাকা বায়ুতাড়িত বালুকাদ্বারা আচ্ছাদিত অবস্থায় আছে। এই সকল জায়গায় ভূজলের অনুসন্ধান করিয়া দেখা গিয়াছে যে সাধারণতঃ water-level খুব গভীর, বিশেষতঃ এই অঞ্চলের পশ্চিমপ্রান্তে যেখানে প্রায় 100 মিটার তলায় ইহা পাওয়া যায়। Jaisalmer জেলায় Jurassic হইতে Tertiary যুগের শিলাস্তর থেকে ভিন্ন গুণাগুণবিশিষ্ট

ভূজল সংগ্রহ করা সম্ভব, কিন্তু এই সকল শিলাস্তরের উপরে শায়িত বায়ুতাড়িত বালুকামণ্ডলে উথিত (Perched) ভূজলবাহী স্তর হইতে পানীয় জল সরবরাহ হয়।

D. পাললিক মৃত্তিকাবহুল (Alluvial Tracts) অঞ্চল

বৃহৎ নদীগুলির উপত্যকা অথবা অববাহিকা অঞ্চলে পাললিক মৃত্তিকা ভূজলের প্রধান উৎস। এই পাললিক মৃত্তিকাপূর্ণ স্থানগুলি বিভিন্ন আয়তনের ও আকারের হয়। বিশেষতঃ দেশের উত্তরভাগে হিমালয় পর্বতমালার মধ্যে ও পাদদেশে কতকগুলি বিস্তৃত এলাকায় যথা কাশ্মীর ও দুন উপত্যকায় এইরূপ পাললিক মৃত্তিকার বিশাল অবক্ষেপ আছে। এই পাদদেশের দক্ষিণে জম্মু-পাঞ্জাব হইতে আসাম পর্য্যন্ত দীর্ঘ এলাকা জুড়িয়া হিমালয়ের পরিবাহ গোষ্ঠীর দ্বারা বিরাট পাললিক মৃত্তিকা জমায়েত হইয়াছে। তবে এই সকল বিভিন্ন অবক্ষেপে ভূজলের আধারের এবং গুণাবলীর বৈশিষ্ট্য ভিন্ন প্রকৃতির পরিলক্ষিত হয়। পার্বত্য এলাকা ছাড়াও দেশের সমতল স্থানগুলিতে যথা গুজরাট, মহারাষ্ট্র, মধ্যপ্রদেশ, রাজস্থান ও তামিলনাড়ু রাজ্যগুলিতে বৃহৎ নদীগুলির উপত্যকায় এবং পার্শ্ববর্তী স্থানসমূহে খুব গভীর এবং বিশাল দৈর্ঘ্য ও প্রস্থের ভূজলবাহী পাললিক অবক্ষেপ আছে। এক্ষণে এই সকল ভূজলের উৎসগুলির সংক্ষিপ্ত বিবরণ দেওয়া হইতেছে।

I হিমালয় সংলগ্ন পার্বত্য অঞ্চল

(i) কাশ্মীর উপত্যকা (Kashmir Valley)

এই উপত্যকায় Pleistocene কালের Karewa গঠন আংশিকভাবে Jhelum নদীর আধুনিক কালের পলিমাটির দ্বারা আচ্ছাদিত অবস্থায় পাওয়া যায়। এই পাললিক অবক্ষেপের বিস্তৃতি, গভীরতা এবং প্রাকৃতিক অবস্থান ইহার মধ্যে সঞ্চিত অফুরন্ত ভূজলের উপযুক্ত ব্যবহারের খুবই অনুকূল অবস্থার সূচনা করে। উপরোক্ত পাললিক অবক্ষেপ সমূহের প্রান্তভাগ দিয়া বহু প্রস্রবণ দেখা যায়। এইগুলি পাললিক অবক্ষেপ মধ্যস্থ ভূজলের পরিবেষ্টনকারী পর্বতমালার দিকে ক্ষরণের ফলে সৃষ্টি হইয়াছে। এই প্রস্রবণগুলির নিঃস্রাবের মাত্রা প্রতি ঘণ্টায় 400 হইতে 27,000 লিটার এবং পানীয় জলের উৎস হিসাবে এইগুলি খুবই ব্যবহার-যোগ্য। এই এলাকায় ভূজল ভূপৃষ্ঠের খুব নিকটেই (মাত্র তিন মিটারের

মধ্য) পাওয়া যায়, বিশেষতঃ Jhelum নদীর পাললিক অবক্ষেপে। শ্রীনগরের নিকটে 150 মিটার গভীরতার মধ্যে অনেকগুলি নলকূপের সাহায্যে ভূজল পানীয় জল হিসাবে সরবরাহের ব্যবস্থা করা হইয়াছে। এইগুলির নিঃস্রাব ঘণ্টায় প্রায় 90,000 লিটার।

(ii) ডুন উপত্যকা (Dun Valley)

অনুদৈর্ঘ্য (Longitudinal) অভিবিবর্তনিক (Tectonic) উপত্যকাগুলির মধ্যে ইহা অন্যতম এবং উত্তরপ্রদেশের দেরাদুন জেলার উত্তরাংশে বিস্তৃতি লাভ করিয়াছে। এই উপত্যকার উত্তর দিকে Lesser Himalayan পর্বতমালার বাহ্যতম (Outermost) ভাগ অবস্থিত এবং দক্ষিণে উহা শিবালিক পর্বতমালার দ্বারা বেষ্টিত। ইহা Pleistocene ও অধুনা-কল্পের পাললিক অবক্ষেপে পূরিত এবং এই এলাকায় ভূজল জলপীঠের তলায় থাকে। এই জলপীঠ উত্তরদিকে বেশী গভীর কিন্তু দক্ষিণদিকে ইহা ভূপৃষ্ঠের অল্প নীচেই থাকে। দক্ষিণ হইতে উত্তরে এই গভীরতা 2·05 মিটার হইতে 13·98 মিটারে বৃদ্ধি পায়। এই উপত্যকার পাললিক অবক্ষেপে জমির উপরিভাগ হইতে 72 মিটারের মধ্যে বেশ একটা মোটা দানাবিশিষ্ট অংশ ভূজলে সংপৃক্ত আছে এবং ইহা হইতে প্রচুর পরিমাণে (মিনিটে প্রায় 3,000 লিটার) ভাল জল নলকূপের সাহায্যে সংগ্রহের প্রকল্প সফল হইবে।

(iii) ইন্দো-গঙ্গা পাললিক এলাকা (Indo-Ganga Alluvial Tract)

(a) **Bhabar-Tarai Belts**—এই পাললিক এলাকা উত্তর হইতে দক্ষিণে দুইটি অংশে হিমালয়ের অব্যবহিত দক্ষিণদিকের পাদদেশে জম্মু এবং কাশ্মীর (জম্মুতে), পাঞ্জাব, উত্তরপ্রদেশ, পশ্চিমবঙ্গ এবং আসামে পাললিক অবক্ষেপ Bhabar-Tarai গঠন (Formations) নামে অভিহিত। এই অংশে বৃহৎ পরিমাণে ভূজলের প্রাপ্তি সম্ভাবনা আছে। Bhabar মণ্ডলটি (Belt) উত্তরভাগে এবং Tarai অঞ্চলটি উহার অব্যবহিত দক্ষিণে অবস্থিত। Bhabar belt-এর উত্তরপ্রান্তে ভূজলের আধিক্য হইলেও জলপীঠের অত্যধিক গভীরতা, ঋতু পরিবর্তনের সাথে সাথে উহার খুব বেশী উঠতি-পড়তি (Fluctuation) হওয়া, পুনঃপূরণের উৎসের সান্নিধ্য, এবং কঠিন ও দৃঢ় সংবদ্ধ সালের (Boulder) গঠন থাকায় এই এলাকায়

ভূজলের নলকূপ দ্বারা বড় রকমের বিকাশ সাধনের সুবিধা নাই। তবে এই belt-এর দক্ষিণপ্রান্তে নলকূপ দ্বারা অধিক পরিমাণে ভূজলের আহরণ ও তাহার ক্রমবিকাশের সম্ভাবনা খুবই উজ্জল। এখানে 90-150 মিটার গভীর এক একটি নলকূপ প্রতি ঘণ্টায় প্রায় 1,80,000 লিটার জল সরবরাহ করিতে সক্ষম।

Tarai অঞ্চলে ভূগর্ভে অনেকগুলি সুনির্ধারিত aquifer আছে এবং এইগুলি আর্টেজীয় (Artesian) অবস্থায় থাকায় ভূপৃষ্ঠে আপনাহতেই ভূজল বহুল পরিমাণে প্রবাহিত হয় ও অনেকাংশে বিনা ব্যবহারে অপব্যয়িত হয়। Tarai অঞ্চলের aquiferগুলির পুনঃপূরণে Bhabar belt খুবই সহায়ক হওয়ায় Tarai এলাকায় ভূজলের সম্ভবনীয়তা খুব বেশী এবং ইহার অবারিত প্রবাহের নিরোধ সাধন করিয়া উপযুক্ত সদ্ব্যবহারের পরিকল্পনা খুবই ফলপ্রসূ হইবে।

(b) **Indo-Ganga Plain**—Tarai belt-এর দক্ষিণে পাঞ্জাব হইতে উত্তরপ্রদেশ, বিহার এবং পশ্চিমবঙ্গ পর্যন্ত এই বিস্তৃত এলাকায় ভূজলের অনুসন্ধান খুব বিশদরূপে করার ফলে দেখা গেছে যে ভূগর্ভের নাতি গভীর স্থান হইতে প্রচুর পরিমাণে ভূজল আহরণ সম্ভব এবং কয়েকটি সীমিত এলাকা ব্যতিরেকে অন্যান্য সকল স্থানের ভূজল ব্যবহারের সম্পূর্ণ উপযুক্ত। ভূছিদ্র করিয়া অনুসন্ধানে দেখা গিয়াছে যে ভূপৃষ্ঠ হইতে 300 মিটারের মধ্যে ভূগর্ভে অনেকগুলি aquifer আছে যেগুলি বৃহৎ নলকূপের সাহায্যে ঘণ্টায় প্রায় 90,000 লিটার জল সরবরাহ করিতে সক্ষম। এই সমীক্ষার ফলে পাঞ্জাব, উত্তরপ্রদেশ, বিহার এবং পশ্চিমবঙ্গ এই চারিটি রাজ্যের বহু জেলায় ভূজলের ব্যবহারের বড় রকমের প্রকল্প বাস্তবে পরিণত হইয়াছে এবং সেচের কাজে, শিল্পসংস্থাগুলিতে ও পানীয় জলের প্রয়োজনে এই ভূজল অধিক পরিমাণে ব্যবহৃত হইতেছে।

(iv) ব্রহ্মপুত্র উপত্যকা (Brahmaputra Valley)

Lower আসামের দারং, কামরূপ এবং গোয়ালপাড়া জেলায় এই উপত্যকা পূর্ব হিমালয়ের গিরিশৃঙ্গজনবিষয়ক মণ্ডলের (Orogenic belt) সম্মুখস্থ গভীর অগ্রভূমি হিসাবে বিরাজ করে। ইহাকে একটি অপ্রশস্ত পাললিক সমতলভূমিরূপে দেখা যায়। এই উপত্যকায় পার্বত্যসানুদেশে গঠিত (Piedmont) এবং অন্যান্য স্থানের পাললিক মণ্ডলগুলির মধ্যে ভূজলজনিত অবস্থার যে প্রভেদ দেখা যায় উহার গঙ্গা পাললিক এলাকার

Bhabar belt ও অন্যান্য পাললিক মণ্ডলের মধ্যে ঐজাতীয় প্রভেদের সহিত খুব বেশী সাদৃশ্য আছে। ব্রহ্মপুত্র উপত্যকার piedmont শ্রেণীগুলির প্রবেশ্যতা (Permeability) খুব বেশী হওয়ার ভূজলের স্তর সাধারণত: 30 মিটার গভীর। এই এলাকার Tarai belt-এ জলপীঠের সীমানার মধ্যে বেশ কয়েকটি প্রবেশ্য (Permeable) স্তর আছে এবং ভূপৃষ্ঠের দুই হইতে পঁচিশ মিটার তলায় জল পাওয়া যায়। ব্রহ্মপুত্র উপত্যকার Tarai অঞ্চলে দারং জেলায় পশ্চিম সীমানা হইতে পার্শ্ববর্তী কামরূপ জেলা অবধি 30 কিলোমিটার দীর্ঘ একটি আর্টেজীয় অবস্থা-বিশিষ্ট ভূজলের belt চিহ্নিত করা সম্ভব হইয়াছে। ইহা প্রস্থে দুই হইতে পাঁচ কিলোমিটার এবং ইহাতে অনেকগুলি গভীর aquifer অবরুদ্ধ থাকায় নলকূপগুলি হইতে প্রতি মিনিটে গড়পড়তা 250 হইতে 450 লিটার জলের আর্টেজীয় প্রবাহ দেখা যায়। এই সকল স্থানে গভীর নলকূপের সাহায্যে অধিক পরিমাণে ভূজল আহরণের সুবিধা আছে।

II সমতল এলাকা

(i) গুজরাট

এই রাজ্যের পাললিক অঞ্চল, বিশেষত: সবরমতী, মাহী, ধাধর, নর্মদা এবং তাপী নদীর ও উহাদের শাখা নদীর পরিবাহমণ্ডলে ভূজল-বিজ্ঞানসম্বন্ধীয় অনুসন্ধানের দ্বারা জানা গিয়াছে যে অনেকগুলি aquifer এই অঞ্চলে বিদ্যমান। কতকগুলি ভূপৃষ্ঠের 9 হইতে 24 মিটারের মধ্যে আছে, আর কতকগুলি aquifer 24 হইতে 61 মিটার গভীরতা অবধি sub-আর্টেজীয় অবস্থায় আছে। এইগুলি ছাড়া আরও তিনটি aquifer পূর্ণ আর্টেজীয় অবস্থায় যথাক্রমে 91 হইতে 152, 183 হইতে 244 এবং 274 হইতে 366 মিটার গভীর তলদেশে পাওয়া যায়। ভূপৃষ্ঠের নিকটস্থ ভূজল সাধারণত: পানীয় হিসাবে ব্যবহারের উপযুক্ত তবে সা ্রিক অথবা পয়:প্রণালীর জলের মিশ্রণে ইহা স্থানীয়ভাবে দূষিত হইয়া পড়ে। Sub-আর্টেজীয় ভূজল মণ্ডলের জল সকল স্থানেই পানীয় হিসাবে ব্যবহারের উপযুক্ত কিন্তু আর্টেজীয় ভূজল বিভিন্ন গুণবিশিষ্ট এবং সাধারণত: পানীয়ের জন্য অনুপযুক্ত, তবে কৃষিকার্য্যে সেচের জন্য ব্যবহৃত হয়। দেখা গিয়াছে যে উপরোক্ত aquifer-গুলির ভূজল সরবরাহের ক্ষমতা খুব বেশী নহে।

(ii) মধ্যপ্রদেশ ও মহারাষ্ট্র

নর্মদা, তাপী, পূর্ণা, এবং অপর কয়েকটি বৃহৎ ও উল্লেখযোগ্য নদীর অববাহিকায় ভূজলের অনুসন্ধান সবিস্তারে করা হইয়াছে। এইসকল অববাহিকা মধ্যপ্রদেশ ও মহারাষ্ট্র এই দুই রাজ্যের সীমানার মধ্যে অবস্থিত। তবে ইহাদের বেশীর ভাগ অংশ, বিশেষতঃ পূর্বদিকে, মধ্যপ্রদেশের অন্তর্ভুক্ত। এই অববাহিকার মধ্যে তিনটি প্রধান নদীর উপত্যকায় সমীক্ষালব্ধ ফলাফল এখানে বর্ণিত হইয়াছে:

(a) নর্মদা উপত্যকা—নর্মদা নদীর দুইতীরে ভূপাল, হোসঙ্গাবাদ এবং জব্বলপুর জেলার একটা বিরাট এলাকার পাললিক অবক্ষেপে ভূজল-বিজ্ঞানজনিত সমীক্ষা এবং অনেকগুলি পরীক্ষামূলক ভূছিদ্রকরণের দ্বারা ভূগর্ভে সঞ্চিত জলের পরিমাণ ও তাহার গুণাগুণসম্বন্ধে বহু প্রয়োজনীয় তথ্য সংগৃহীত হয়। ভূছিদ্রগুলির কয়েকটি 450 মিটার অবধি গভীর করা হইয়াছিল। এই সমীক্ষার দ্বারা অনুমান করা হয় যে নর্মদা নদীর উত্তরে প্রায় 70,000 hectares এবং দক্ষিণে 226,000 hectares জমিতে মাত্র 90 মিটার গভীর নলকূপের সাহায্যে ভূজল উত্তোলন করিয়া সেচের কার্য্যে ব্যবহার করা সম্ভব হইবে। আহরিত ভূজলের পরিমাণের হার ক্রমশঃ বৃদ্ধি করার সম্ভাবনাও দেখা যায়। পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে ঘণ্টায় প্রায় 100,000 লিটার জল নলকূপ হইতে সংগ্রহ করা সম্ভব এবং রাসায়নিক পরীক্ষায় এখানকার ভূজল কৃষিকার্য্যের উপযোগী বলিয়া বিবেচিত হয়।

(b) পূর্ণা উপত্যকা—এই উপত্যকার বিস্তৃত এলাকাতেও ভূজলের প্রাপ্তির সম্ভবনীয়তা সম্বন্ধে সমীক্ষা করা হয় এবং বেশ কয়েকটি ভূছিদ্র করিয়া পাতালিক অনুসন্ধান চালান হয়। এই উপত্যকার নিম্নে ব্যাসল্ট শিলা বিদ্যমান এবং তদুপরি পাললিক অবক্ষেপ পূরক (Fill) হিসাবে জমিয়াছে। উপত্যকার মধ্যভাগের উত্তরাংশে এই পূরক সর্বাপেক্ষা বেশী (325 মিটার) মোটা কিন্তু এই অবক্ষেপে দানাবিশিষ্ট অংশের অনুপস্থিতির জন্য ভূছিদ্রগুলি হইতে সুফল পাওয়া যায় নাই, তবে উপত্যকার উত্তরভাগে ভূজলের আহরণ পরিমিত হারে সম্ভব হইতে পারে।

(c) তাপী উপত্যকা—ব্যাসল্ট পাথর এই উপত্যকার নিম্নেও বিদ্যমান এবং ভূপৃষ্ঠের 22·8 হইতে 242 মিটার গভীর তলদেশ অবধি ইহার স্তরের উপস্থিতি ভূছিদ্রকরণের দ্বারা প্রমাণিত হয়। এই উপত্যকাতেও

অনেকগুলি ভূছিদ্র করিয়া তিনটি এলাকা চিহ্নিত করা সম্ভব হয় যেখানে নলকূপের সাহায্যে ভূজল আহরণের বিকাশসাধন বেশ উজ্জল। এই তিনটি এলাকা হইল: (1) Rajora, (2) Raver ও (3) Korpavali এবং এই এলাকাগুলির ভূজল সেচের উপযোগী। সমীক্ষার দ্বারা দেখা গিয়াছে যে উপরোক্ত তিনটি এলাকা ছাড়া তাপী উপত্যকার বাকী অংশে আর কোন স্থানে ভূজলের বড় রকমের বিকাশ সাধনের সম্ভাবনা নাই।

(1) Rajora এলাকা দৈর্ঘ্যে প্রায় 25·6 কিলোমিটার এবং প্রস্থে উহার পূর্ব ও পশ্চিমদিকে 6·4 কিলোমিটার। এখানে ভূছিদ্র করিয়া প্রায় 40·5 মিটার মোটা দানাদার উপাদানের স্তর ভূগর্ভে aquifer-এ পাওয়া যায় এবং উহা ঘণ্টায় 137,000 লিটার জল সরবরাহ করিতে সক্ষম। পাম্পের সাহায্যে জলোত্তোলনের সময়ে স্থানীয় জলপীঠের লেভেল মাত্র চারি মিটার নীচে নামিয়া যায়।

(2) Raver-এর আশেপাশে ছোট এলাকা হইতেই নলকূপ দ্বারা ঘণ্টায় প্রায় 174,000 লিটার ভূজল সংগ্রহ করা সম্ভব এবং ইহাতে জলপীঠ মাত্র 1·8 মিটার নীচে নামে। এই এলাকায় ভূজলের ব্যবহারের বিকাশ সাধন খুব আশাপ্রদ।

(3) Korpavali এলাকারও আশপাশ হইতে ভূজল সংগ্রহের সম্ভবনীয়তা বেশ উজ্জ্বল। এই এলাকাতেও ভূপৃষ্ঠের তলদেশে 7 হইতে 50 মিটার অবধি দানাদার উপাদান থাকায় সঞ্চিত ভূজলের পরিমাণ খুব বেশী এবং সেচের কাজে উহার ব্যবহারের বিকাশ সাধন খুব আশাপ্রদ।

(d) **চম্বল উপত্যকা**—মধ্যপ্রদেশের সীমানার মধ্যে এই উপত্যকায় ভীন্দ, মোরেনা এবং গোয়ালিয়র জেলার বেশ বড় অংশে ভূজলবিজ্ঞানজনিত সমীক্ষা করিয়া দেখা যায় যে এই এলাকায় Gwalior Series এবং Vindhyans গঠনের শিলাসংস্তরের উপর পাললিক অবক্ষেপ আছে। গোয়ালিয়র, মোরেনা এবং ভীন্দ জেলায় এই পাললিক আচ্ছাদনের স্থূলতা যথাক্রমে 30, 50 এবং 60 মিটারের চেয়ে কম। মোরেনা এবং ভীন্দ জেলা দুইটিতে বালুকা, উধোপল এবং কাঁকরের স্তরমণ্ডলে ভূজল অবরুদ্ধ (Confined) অবস্থায় আছে আর গোয়ালিয়র জেলায় ভূজলের আধারে সাল, উধোপল, নুড়ি পাথর এবং কাঁকর পাওয়া যায় ও সেখানেও ভূজল অবরুদ্ধ অবস্থায় আছে। চম্বল উপত্যকার এই অঞ্চলে ভূপৃষ্ঠের অব্যবহিত নীচে পীতবর্ণের পলিমাটি (Silty clay) এবং কাঁকর আছে। কূপের জল এই স্তর হইতেই সংগৃহীত হয়, তবে উপত্যকায়

কিছু অংশে ভূপৃষ্ঠে জল জমিয়া যাওয়ার (Water-logging) প্রবণতা দেখা যায়।

(iii) রাজস্থান

এই রাজ্যের যোধপুর জেলার Pali এলাকার Luni নদী ও তাহার উপনদীগুলির অববাহিকায় সবিস্তারে ভূজলবিজ্ঞানজনিত সমীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে এই এলাকায় ভূজল যথেষ্ট পরিমাণে না থাকায় নলকূলের সাহায্যে সেচের কাজে ব্যবহার করা সম্ভব নহে। উপরন্তু বেশীর ভাগ ক্ষেত্রে এই জল লবণাক্ত হওয়ায় চাষের জন্য ব্যবহারের অনুপযুক্ত। তবে অল্প লবণাক্ত অবস্থায় ভূজল অগভীর জলপীঠে কূপ খনন করিয়া পরিমিত হারে ছোট সেচ প্রকল্পের কাজে ব্যবহার করা যাইতে পারে এবং এই ব্যাপারে আমেদাবাদ-দিল্লী রেলপথের দক্ষিণ-পূর্ব দিক বিবেচিত হইতে পারে।

(iv) তামিল নাডু

তামিল নাডুর Cooum নদীর অববাহিকার সমীক্ষা করিয়া জানা গিয়াছে যে ইহার ভূজল সংরক্ষণের ক্ষমতা প্রায় কুড়ি লক্ষ লিটারের বেশী। তন্মধ্যে সারা বছরে প্রায় দুই-তৃতীয়াংশ জল সেচের কাজে, শিল্পে, দেশরক্ষা বাহিনীর প্রয়োজনে এবং গৃহস্থালীর কাজে ব্যবহৃত হয়। সুতরাং বর্তমানের ব্যবহার ছাড়া আরও অধিক পরিমাণে ভূজলের ব্যবহারের অন্যান্য পরিকল্পনার সফলতার আশা কম। থাঞ্জাভুর (তাঞ্জোর) জেলার Mayuram এলাকার কিছু অংশে 'অধুনা যুগের' পাললিক অবক্ষেপে প্রচুর পরিমাণে ভূজলের সঞ্চয় হয়। ইহা জলপীঠে এবং নিম্নে অবরুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায় ও ইহার বিকাশ সাধনের ভবিষ্যৎ খুবই উজ্জ্বল।

E. উপকূল অঞ্চল (Coastal Tracts)

দেশের বহু উপকূল অঞ্চলেও ভূজলের পরিমাণ নিরূপণ ও নানারূপ ব্যবহারে তাহার বিকাশ সাধনের ব্যাপারে সমীক্ষা করা হইয়াছে। দেখা গিয়াছে যে aquifer গুলি নরম ও অল্প কঠিন উপাদানসমূহে পূর্ণ এবং ভূজলের বিভিন্ন অবস্থা 'ব-দ্বীপের' (Deltaic conditions) উপস্থিতির দ্বারা প্রভাবান্বিত হইয়াছে। গুজরাট, কেরালা, তামিল নাডু, অন্ধ্রপ্রদেশ,

উড়িষ্যা, এবং পশ্চিমবঙ্গের উপকূলভাগে এই অনুসন্ধান কার্য্যের দ্বারা নিম্নে বর্ণিত তথ্য সংগৃহীত হইয়াছে।

(i) গুজরাট

এই রাজ্যের কচ্ছ (Kutch) এলাকায় aquifer গুলির উপস্থিতি 91 হইতে 215 মিটার গভীরতার মধ্যে সীমাবদ্ধ। এইগুলি হইতে অধিক পরিমাণে ভূজল আহরণের সম্ভাবনা মাত্র অল্প কয়েকটি এলাকাতে আছে। এই এলাকাগুলি হইল: (1) Nakhatrana—Deshalpar ; (2) Anjar হইতে Sisagadh অবধি পুব-পশ্চিমে বিস্তৃত অভিনত (Synclinal) অববাহিকা ; এবং (3) Kapaia-র চতুর্দিকে ছোট বৃত্তাকার এলাকা। Bhuj-Mankuwa অঞ্চলে Upper Bhuj Stage-এর নরম ও চূর্ণনীয় বালুশিলাগুলি এবং Lower Bhuj Stage-এর মাঝারী থেকে মোটা দানাবিশিষ্ট বালুশিলাগুলি প্রচুর ভূজলের সঞ্চয়ের আধার। ভূপৃষ্ঠের নিকটতম ভূজলবাহী স্তর জমির উপরি ভাগ হইতে 30 মিটার গভীরতার মধ্যে সীমাবদ্ধ। এই অঞ্চলের কূপগুলি হইতে দৈনিক 27,000 লিটার থেকে এক লক্ষ লিটার জলের সরবরাহ পাওয়া যায়, তবে যান্ত্রিক উপায়ে 270,000 লিটার জল দিনে আহরণ করা সম্ভব হইয়াছে। কান্দলা বন্দর এবং গান্ধীধামের আশপাশ হইতে Bhuj Series-এর শিলাস্তরগুলি হইতে নলকূপের সাহায্যে ভূজলের সরবরাহের সম্ভাবনা আছে তবে উহা কি পরিমাণে আহরণ করা যুক্তিযুক্ত হইবে সে সম্বন্ধে সমীক্ষা করা প্রয়োজন। পূর্ব কচ্ছ দেশে Dudhai এবং Bachan এলাকায় সেচের জন্য ভূজল প্রচুর পরিমাণে ব্যবহৃত হয়, তথাপি দৈনিক প্রায় 9,000,000 লিটার অতিরিক্ত ভূজল আহরণের সম্ভবনীয়তা দেখা যায়।

(ii) কেরালা, তামিলনাডু ও অন্ধ্র প্রদেশ

কেরালার Alleppey জেলায় নরম শিলাবিশিষ্ট এলাকায় ভূজলের অনুসন্ধান করিয়া জানা যায় যে ভূপৃষ্ঠের নিকটতম জলবাহীস্তর জমির উপরিভাগ হইতে 3·5 মিটারের মধ্যে অবস্থিত। ভূপৃষ্ঠ হইতে 64 মিটার গভীরতার মধ্যে aquifer-গুলি নলকূপের সাহায্যে ঘণ্টায় 50,000 থেকে 114,000 লিটার জল সরবরাহ করে এবং এই গভীরতার মধ্যে অবস্থিত aquifer-গুলি যথেষ্ট পরিমাণে ভজল সরবরাহে সক্ষম হইবে বলিয়া আশা করা যায়। দক্ষিণ ভারতের পূর্ব উপকূলের Tertiary অবক্ষেপে 91

হইতে 456 মিটার গভীর ভূছিদ্র করিয়া জানা গিয়াছে যে এই সমগ্র এলাকায় ভূজলের সম্ভবনীয়তা অতিশয় উজ্জ্বল। এই অনুসন্ধান কার্য্য প্রধানত: Chingleput, South Arcot, Tiruchirapalli (Trichinopoly) এবং Ramanathapuram (Ramnad) জেলায় করা হয়। পূর্বেই বর্ণিত হইয়াছে Cuddalore বালুশিলা স্তরগুলি ভূগর্ভে ভিন্ন ভিন্ন তলে প্রচুর aquifers বহন করে। South Arcot, Tiruchirapalli, পূর্ব ও পশ্চিম Godavari এবং Krishna জেলায় এই aquifer-গুলি হইতে প্রতি ঘণ্টায় 90,000 থেকে 250,000 লিটার জল পাওয়া গিয়াছে এবং এই জলোত্তোলনের দ্বারা জলতল (Water level) মাত্র 18 মিটার নামিয়া যায়। তবে Ramnad উপকূলে এবং কেরালায় ঘণ্টায় 45,000 লিটার জল সরবরাহ পাওয়া গিয়াছে।

(iii) উড়িষ্যা

এই রাজ্যের কটক ও বালেশ্বর জেলার উপকলবর্তী পাললিক সমতল অঞ্চলে ভূজলের স্তরগুলির দক্ষিণ-পূর্ব দিকে ঢাল দেখা যায়। ভদ্রক—বন্দরপোখরী এলাকায় ভূপৃষ্ঠের 130 মিটারের মধ্যে উত্তম দানাবিশিষ্ট পাললিক স্তর বিদ্যমান। উপরোক্ত উপকূলবর্তী অঞ্চলের দক্ষিণ-পূর্ব অংশে সুজলবাহী (Fresh Water-bearing) স্তরগুলি ভূপৃষ্ঠ হইতে 135 মিটার তলায় এবং 225 মিটারের মধ্যে অবস্থিত। অগভীর জলবাহী-স্তরগুলি লবণাক্ত জলবহন করে। বাস্তা—বালেশ্বর, আগরপাড়া—নলকোণ্ডা এবং পাণিকোলী—পলাশা এলাকাগুলিতে বৃহত্তর হারে ভূজলের সরবরাহ পাওয়ার বিশেষ সম্ভাবনা আছে। এই সকল এলাকায় নলকূপ-গুলি ঘণ্টায় 89,000 হইতে 180,000 লিটার জল উত্তোলন করে। আশা করা হয় যে চণ্ডীপুর ও সোরো এলাকা হইতেও পরিমিত হারে ভূজল আহরণের পরিকল্পনা সফল হইবে কারণ নলকূপগুলি এই এলাকায় ঘণ্টায় 19,000 হইতে 30,000 লিটার পর্য্যন্ত জল উত্তোলন করে। উপকূলের লবণাক্ত অঞ্চলেও 180 হইতে 270 মিটার গভীরতার মধ্যে দানাবিশিষ্ট aquifer-এর অংশ হইতে সুজলের সরবরাহ পাওয়া সম্ভব।

(iv) পশ্চিমবঙ্গ

এই রাজ্যে মেদিনীপুর জেলার উপকূলবর্তী অঞ্চলে ভূজলবিজ্ঞানজনিত সমীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে ভূপৃষ্ঠের নিকটস্থ সুজলবাহী স্তরগুলির

পুরোভাগে এবং বেষ্টনী হিসাবে লবণাক্ত স্তরগুলি আছে। গভীর aquifer-গুলির বিচ্ছিন্ন জলতল (Piezometric surface) বঙ্গোপসাগরের দিকে প্রতি কিলোমিটারে 1·5 থেকে 2·0 মিটার অবক্রম (Gradient) বিশিষ্ট। দক্ষিণ চব্বিশপরগণা ও হাওড়া জেলার উপকূলবর্তী এবং ব-দ্বীপ অঞ্চলেও (Deltaic area) লবণাক্ত ভূজলের উপস্থিতি পাওয়া যায় এবং ইহাতে ভূজল সরবরাহে সমস্যার সৃষ্টি হয়। লবণাক্ত জল এই সকল অঞ্চলে পাললিক অবক্ষেপের জমায়েতের সাথে সাথে অবরুদ্ধ হইয়া পড়িয়াছিল। এই অঞ্চলসমূহে বিভিন্ন গুণবিশিষ্ট ভূজলের স্তরগুলির উপস্থিতি উপযুক্ত গুণের জলের আহরণে প্রভূত বিঘ্ন সৃষ্টি করে। তবে কাঁথি (Contai) ও আরও কয়েকটি স্থান ছাড়া উপকূলবর্তী অঞ্চলে স্বজলের aquifer অবরুদ্ধ এবং অপেক্ষাকৃত নাতিগভীর (100 মিটার) তলে পাওয়া যায়।

পশ্চিমবঙ্গে ভূজলের সাহায্যে সেচকার্য্যের সম্ভবনীয়তা

পশ্চিমবঙ্গ রাজ্যের ভূতাত্ত্বিক গঠন ভূজল সঞ্চয়ের এবং উহার পুনঃপূরণের খুবই সহায়ক। এই অবস্থা কোচবিহার, জলপাইগুড়ি, দার্জিলিং জেলার শিলিগুড়ি মহকুমা, পশ্চিম দিনাজপুর, মালদহ, মুর্শিদাবাদ, নদীয়া, চব্বিশপরগণা, হাওড়া, হুগলী এবং বৰ্দ্ধমান জেলাগুলির সমস্ত অংশে, বাঁকুড়া ও মেদিনীপুর জেলার প্রায় অর্দ্ধাংশে এবং বীরভূম জেলার বৃহত্তর অংশে বিদ্যমান। পুরুলিয়া জেলার অবস্থা সম্পূর্ণ বিপরীত কারণ এই জেলার সর্বত্র কঠিন শিলাসংস্তর থাকায় এবং তাহাদের সরন্ধ্রতা ও প্রবেশ্যতার মান খুব নিম্নমানের হওয়ায় ভূজলের সঞ্চয়ের কোনরূপ সুবিধা নাই। শিলাগুলির ফাটল এবং বিচূর্ণীভূত আচ্ছাদনে অল্প পরিমাণে ভূজল সংরক্ষিত হয় এবং স্থানীয় গৃহস্থালীর কাজে ও পানীয় হিসাবে ব্যবহারের প্রয়োজনীয়তা মিটাইতে সক্ষম হয় না। 'ব-দ্বীপ' অবস্থার (Deltaic conditions) উপস্থিতির জন্য চব্বিশপরগণা, হাওড়া এবং মেদিনীপুর জেলায় উত্তম গুণবিশিষ্ট বৃহৎ বিস্তৃত aquifer-গুলি প্রায় 250 মিটার নীচে অবস্থিত। অবশিষ্ট জেলাগুলির প্রায় নব্বুই শতাংশ এলাকায় ভূজলের aquifer-গুলি অগভীর এবং সর্বাধিক 150 মিটার গভীরতার মধ্যে জলপীঠে বিদ্যমান। এইরাজ্যে সম্বৎসরব্যাপী অপেক্ষাকৃত অল্প খরচে জলসেচের ব্যবস্থার জন্য ভূজলের অতিরিক্ত ব্যবহারকল্পে ইহা একটি প্রকৃতিদত্ত সুবিধা হিসাবে গণ্য করা যাইতে পারে। অবরুদ্ধ

এবং চাপের বশবর্তী অবস্থায় aquifer-গুলি প্রধানতঃ নিম্নলিখিত জেলাগুলির কতকাংশে পাওয়া যায় :—

চব্বিশপরগণা, হাওড়া, হুগলী, বর্দ্ধমান, বীরভূম, মুর্শিদাবাদ, মালদহ এবং পশ্চিম দিনাজপুর। পশ্চিম বঙ্গের পূর্বাংশে, বিশেষতঃ হুগলী নদীর পূর্বদিকে এবং হুগলী জেলার পশ্চিমে কিছু অংশে প্রধান aquifer-গুলি প্রায় 100 মিটার বা কিছু অধিক গভীর এবং জলপীঠের সহিত মিলিত অথবা অবদ্ধ অবস্থায় আছে। সাধারণতঃ এই রাজ্যের প্রায় সকল জেলাতেই 300 মিটারের গভীর aquifer-গুলি হইতে আহরিত ভূজলের রাসায়নিক গুণাবলী সকল প্রকার শস্য উৎপাদনের জন্য প্রয়োজনীয় সেচের কার্য্যে ব্যবহারের উপযুক্ত।

ভারতবর্ষের কয়েকটি শিল্পোন্নয়ন ও নগর সম্প্রসারণ সম্পর্কে ভূজলের অনুসন্ধান

ভারতবর্ষের বিভিন্ন ভৌগোলিক ও প্রাকৃতিক বৈশিষ্ট্যপূর্ণ স্থানগুলিতে ভূজলের অনুসন্ধান, উহার প্রাপ্তির সম্ভবনীয়তা এবং বিভিন্ন ধরণের ব্যবহারে উহার প্রয়োগ ও তাহার বিকাশ সাধনের সম্ভাবনা সম্বন্ধে মোটামুটিভাবে আলোচনা করা হইল। দেশে ভূজলের অনুসন্ধানকার্য্য শিল্পাঞ্চল, খনি এলাকা এবং নগর সম্প্রসারণের উদ্দেশ্যেও বিশেষ কতকগুলি এলাকাতে করা হইয়াছে। ইহাদের মধ্যে উল্লেখযোগ্য কয়েকটির বর্ণনা সংক্ষেপে করা হইতেছে।

(1) Khetri Copper Project

রাজস্থানের ঝুনঝুনু (Jhunjhunu) জেলার Khetri-তে ভারতের অধুনা বৃহত্তম তাম্র উৎপাদন কেন্দ্র স্থাপিত হইয়াছে। এই শিল্পে খনির কাজে ও বিদ্রাবন (Smelting) কার্য্যের প্রয়োজনে প্রচুর জল সরবরাহের আবশ্যক হয় এবং এই প্রসঙ্গে নিকটস্থ এলাকা হইতে ভূজলের প্রাপ্তির সম্ভাবনা সম্বন্ধে সমীক্ষা করা হয়। Singhana নামক স্থানের উপর দিকে ঐ নামের নদীর আবহক্ষেত্রে এবং Chaonra-র উপরদিকে Kantli নদীর আবহক্ষেত্রে অনুসন্ধানের দ্বারা জানা যায় যে শেষোক্ত এলাকার নদীর অবক্ষেপ হইতে নলকূপের সাহায্যে ভূজল উত্তোলন করিয়া সমগ্র চাহিদা মিটান সম্ভব হইবে। Kantli নদীর উপত্যকায় পাললিক অবক্ষেপ প্রায় 53 মিটার মোটা এবং ইহার মধ্যে

উবোপল ও সালের সংস্তরগুলি সর্বাপেক্ষা অধিক মাত্রায় ভূজল বহন করে। হিসাবে দেখা যায় যে এই ভূজলবাহী স্তরগুলি বৎসরে প্রায় 14 মিলিয়ন ঘন মিটার জল সরবরাহ করিতে সক্ষম।

(2) Neyveli Lignite Project

তামিল নাড়ুর South Arcot জেলায় Neyveli-তে ভূগর্ভে বিশাল জল ভাণ্ডারের উপস্থিতি এই lignite প্রকল্প কার্য্যকরী করার প্রধান বাধা হিসাবে দেখা দেয়। এইস্থানে lignite-এর বিশাল অবক্ষেপ খোলা খাত হইতে সংগ্রহ করিবার পরিকল্পনা করা হইলে দেখা যায় যে এই lignite স্তরের নীচে দুইটি খুব মোটা aquifer বিদ্যমান এবং ইহাদের প্রতিটির 'hydrostatic head' খাত এলাকায় lignite স্তরের প্রায় 30·48 মিটার উপরে আছে। ফলে lignite অপসারণের সঙ্গে সঙ্গে অবখাতের (Overburden) ভার কমিতে থাকিলে ঐ aquifer দুইটির জল প্রবল চাপে খাতের তলদেশ ভেদ করিয়া উপরে উঠিয়া আসিবার এবং খাতটিকে সম্পূর্ণরূপে জলমগ্ন করিবার সম্ভাবনা বিশেষভাবে উপলব্ধি করা হয়। এই দুইটি aquifer-এর প্রথমটি ভূপৃষ্ঠের 9·14 থেকে 12·19 মিটার এবং দ্বিতীয়টি 21·33 থেকে 30·48 মিটার নীচে আছে। একটি clay মৃত্তিকার স্তর এই দুইটি aquifer-কে পৃথক করিয়া রাখিয়াছে। পরীক্ষা করিয়া দেখা গিয়াছে যে lignite-এর খাতের চারিদিকে পাম্প বসাইয়া ক্রমান্বয়ে প্রতি মিনিটে 233,000 লিটার ভূজল উত্তোলন করিতে থাকিলে তিরিশদিন পরে এই aquifer দুইটির জলতলের শীর্ষভাগ খাতের লেভেলের নীচে নামিবে। সুতরাং ইহা হইতে এই এলাকায় ভূজলের উৎসের বিশালতা সহজেই অনুমেয় হইবে। এই lignite আহরণের জন্য aquifer দুইটির piezometric head পাম্পের সাহায্যে উপরোক্ত হারে জলত্তোলন করিয়া সর্বদাই lignite-এর স্তরের নীচে রাখার ব্যবস্থা করা হইয়াছে এবং প্রাপ্ত ভূজল সেচের কাজে ও অন্যান্যরূপে ব্যবহার করা হইতেছে।

(3) Greater Calcutta (পশ্চিমবঙ্গ)

বৃহত্তর কলিকাতা উন্নয়ন পরিকল্পনায় পানীয় এবং গৃহস্থালীর কাজে ব্যবহারের জন্য অতিরিক্ত জলসরবরাহের প্রয়োজনে এই এলাকায় সবিস্তারে ভূজলের উৎসের অনুসন্ধান করা হয়। এই কার্য্যে জিওলজিকাল সার্ভে

অব ইণ্ডিয়ার ভূজলবিজ্ঞানসম্মত সমীক্ষাকার্য্যের দ্বারা জানা গিয়াছে যে বৃহত্তর কলিকাতার উত্তরাংশে প্রচুর ভূজলের সঞ্চয় আছে এবং দৈনিক প্রায় 454,696,000 লিটার (100 million gallons) জল পাওয়া যাইতে পারে।

বৃহত্তর কলিকাতার (কলিকাতা পৌর সংস্থা এবং হাওড়া ও অন্যান্য তেত্রিশটি মিউনিসিপ্যালিটি সমন্বিত) সমগ্র শিল্পাঞ্চলে সর্বমোট জল-সরবরাহের পরিমাণের এক-চতুর্থাংশের কিছু অধিক ভূজলের উৎস হইতে সংগৃহীত হয়। ক্রমবর্দ্ধমান লোকের বসতি ও শিল্পের প্রসারকল্পে বর্দ্ধিত পরিমাণে জলসরবরাহের প্রয়োজনে সারা এলাকায় বহু পরীক্ষামূলক ভূছিদ্র করিয়া ভূজলের সঞ্চয়ের অনুসন্ধান ও আহরিত জলের গুণাগুণ সম্বন্ধে বিস্তারিত সমীক্ষা ইতিমধ্যেই করা হইয়াছে। বহু মিউনিসি-প্যালিটি ও শিল্প প্রতিষ্ঠান নিজ নিজ প্রয়োজনে নলকূপের সাহায্যে ভূজল আহরণের ব্যবস্থা করিয়াছে। কলিকাতা পৌর সংস্থানের অনেক এলাকাতেও ভূজল সরবরাহ করা হইতেছে এবং ভবিষ্যতে এই ব্যবস্থা আরও বৃদ্ধি করা হইবে। বৃহত্তর কলিকাতার শিল্পাঞ্চল এলাকায় ভূজলের রাসায়নিক বিশ্লেষণ করিয়া দেখা গিয়াছে যে aquifer-এ ভূজলের গুণাগুণের পার্শ্বিক (Lateral) ও উর্দ্ধাধ (Vertical) উভয়দিকেই তারতম্য হয়, অর্থাৎ একই aquifer তাহার বিস্তৃতির বিভিন্ন স্থান হইতে এবং ভিন্ন বেধ (Depth) হইতে ভিন্ন রাসায়নিক গুণের জল সরবরাহ করে। এই বিশেষত্ব কলিকাতা সহরের মধ্যেও লক্ষ্য করা যায়। অনেক ক্ষেত্রে অল্প পার্শ্বিক দূরত্বের ব্যবধানে খুব বেশী তারতম্য পরিলক্ষিত হয় আবার আশ্চর্য্যজনকভাবে খুব বেশী দূরত্বের ব্যবধানেও গুণাগুণের কোনরূপ পরিবর্তন হয় না।

পরিশিষ্ট (Appendix)

সাধারণ শিলাসমূহের কারিগরী ধর্মের বিবরণ

শিলাসমূহের কয়েকটি প্রাকৃতিক ধর্ম

Rocks	Bulk weight g/cm^3	Specific Gravity	Moisture Capacity (% by wt.)	Porosity (%)
Granite	2·60—2·64	2·63—2·85	0—0·05	0·44—1·11
Porphyry	2·55—2·64	2·58—2·66	0·2—0·5	0·50—1·67
Diabase	2·80—2·86	2·85—2·95	0·2—0·4	0·17—1·00
Basalt	2·95—3·00	3·00—3·15	0·1—0·3	0·22—1·10
Vesicular basalt	2·20—2·35	3·00—3·15	4—10	—
Quartzite	2·68—2·70	2·69—2·72	0·2—0·5	0·46
Quartzitic sandstone	2·60—2·65	2·65—2·70	0·2—0·5	1·62
Sandstone	2·0—2·60	2·64—2·72	0·2—9·0	6·10—9·25
Limestone & Dolomite	1·70—2·85	2·70—2·90	0·2—0·5	1·06—2·08
Gneiss	2·65—3·00	2·67—3·05	0·1—0·6	0·30
Amphibolite	2·70—3·10	2·75—3·15	0·1—0·4	—

শিলাসমূহের সাধারণ সংকোচন প্রতিরোধ শক্তি

Rocks	Compressive Strength ($kg./cm^2$)
Some Basalts, Diabase, Quartzites	over 2800
Fine-grained Granites, Diorites, Basalts, Compact Sandstones and Limestones	1700—2800
Coarse to medium-grained Granites, Gneisses, average Sandstones and Limestones	700—1700
Porous Sandstones and Limestones, Shales	350—700
Very porous Sandstone, Siltstone, Chalk, Tuff	under 350

শিলাসমূহের কয়েকটি যান্ত্রিক ধর্ম

Rocks	Resistance to crushing (in dry state) kg/cm^2	Modulus of elasticity kg/cm^2
Granite	1600—2400	500—600
Porphyry	1800—3000	500—700
Diabase	1700—2500	700—800
Basalt	3000—4000	900—1200
Vesicular basalt	800—1500	400—500
Quartzite	1500—3000	400—600
Quartzitic sandstone	1200—2000	300—400
Sandstone	300—1800	50—300
Limestone & Dolomite	800—1800	400—700
Gneiss	1600—2800	
Amphibolite	1700—2800	

Breaking point on Compression or Crushing kg/cm^2

Rocks	Very strong	Strong	Medium	Weak
Granites	2300—3700	1600—2200	1000—1500	600— 900
Porphyries	2500—3500	1800—2400	1200—1700	500—1100
Basalts	2500—4500	2800—3400	1300—2400	800—1200
Sandstones	1500—2200	900—1400	500— 800	250— 400
Limestones	2000—2500	1200—1900	800—1000	200— 700
Marbles	1500—2000	1200—1400	900—1100	300— 800

পরিভাষা

অগ্ন্যুৎপাত—Vulcanism
অঙ্গারময়—Carbonaceous
অধিকেন্দ্র—Epicentre
অধিবৃত্ত—Parabola
অধুনাকল্প—Recent era
অধোগমন—Subsidence
অধোপল—Cobble
অধোঃকোষ্ঠ—Basement room
অনুদৈর্ঘ্য—Strike, Longitudinal
অনুপাত—Ratio
অনুবন্ধ—Appurtenance
অনুবেধ—Injection
অনুভূমিক—Horizontal
অনুসন্ধান—Exploration
অন্তর্গ্রথিত—Interlocking
অন্তর্বাহী—Influent
অন্তর্মৃত্তিকা—Subsoil
অন্তর্সন্নিবেশ—Intercalation
অন্তর্স্রাবণ—Percolation
অন্তঃক্ষেপন যন্ত্র—Injector
অপ্রতিসম—Asymmetrical, Non-symmetrical
অবক্রম—Gradient
অবক্রান্ত—Grading
অবক্ষেপ—Deposit
অবগাহ—Plunge
অবঘাত—Overburden
অবনমন মাত্রা—Drawdown
অববাহিকা—Basin
অবমুক্ত—Released
অবশোষণ—Absorption
অবস্থান্তর—Transition
অভিকর্ষ—Gravity
অভিনত—Synclinal
অভিনতি—Syncline
অভিবিবর্তনিক—Tectonic
অভিসারণিক—Osmotic
অভীক্ষণতা—Frequency
অভ্যঞ্জন—Lubrication
অসংবদ্ধ—Unconsolidated

আকর সন্নিহিত স্তর—Gouge
আকাশ-চিত্র—Aerial Photo
আকুঞ্চন—Buckling
আর্কীয়—Archaean
আখ্যা—Term
আগ্নেয়গিরিজাত দৃঢ় সংবদ্ধ ভস্ম—Tuff
আগ্নেয়গিরিজাত ভস্ম—Volcanic ash
আগ্নেয়শিলা—Igneous rock
আর্টেজীয় (আর্তেজীয়)—Artesian
আনত—Inclined
আনতি—Flexure
আপেক্ষিক—Relative
আপেক্ষিক গুরুত্ব—Specific Gravity
আবদ্ধ—Confined
আবরণ—Shell

আলেখন—Design
আস্তর—Lining
আয়াম চ্যুতি (অনুদৈর্ঘ্য চ্যুতি)—Strike fault

উচ্চাবচন—Relief
উত্তল—Convex
উথিত—Perched
উদত্যাগ—Efflorescence
উদ্‌বেধী—Intrusive
উদ্‌ভেদ—Outcrop
উদস্থিতি—Hydrostatic
উধোপল—Gravel
উপরস্থ—Overlying
উপস্তম্ভ—Fulcrum
উলম্ব (খাড়া)—Vertical
উৎক্রম—Thrust
উৎরাই (ঢাল)—Slope

ঊর্ধ্বভঙ্গ—Anticline
ঊর্ধ্বভাঙ্গিক—Anticlinal
ঊর্ধ্বাধ—Vertical

একনতি—Monocline

ঔদক চুণ—Hydraulic lime

কর্তিত বস্তু—Cuttings
কর্তিত মৃত্তিকা বা পাথর—Dril lcore
কন্দরবিশিষ্ট—Cavernous
কন্দরসমূহ—Caverns
কপিকল—Derrick
করোপল—Pebble
কেলাস—Crystal

কৌশিকী—Capillary
ক্রম (মাপ)—Scale

ক্ষরণ—Leakage (Seepage)
ক্ষরিত—Leached out
ক্ষয়সাধন—Erosion
ক্ষারকীয় শিলা—Basic rock
ক্ষেত্রজ—Field
খনন—Excavation
খনি—Mine
খনিকর্ম্ম—Mining
খনিজ—Mineral
খনিজতত্ত্ব সম্বন্ধীয়—Mineralogical
খণ্ডিকর—Breccia
খণ্ডিকৃত—Brecciated
খনিমধ্যস্থ শূন্যস্থান—Goaf area
খাত—Cutting
খাত (গিরি)—Canyon
খাঁজ—Saddle

গঠন—Structure
গতিপরিবর্তন—Diversion
গতীয়—Dynamic
গর্ত—Pit
গাঢ়ীভূত—Concentrated
গিরিখাত—Gorge
গিরিসৃজন বিষয়ক মণ্ডল—Orogenic belt

গুণক—Co-efficient
গ্রথন—Texture

ঘনত্ব—Density
ঘর্ষক—Abrasive

ঘর্ষণ—Friction
ঘূর্ণ্যমান—Rotary

চড়াই—Rise
চাপমাপক যন্ত্র—Pressure guage
চিমনীর নিষ্ক্রান্ত ভস্মাবশেষ—Fly-ash
চুঙ্গী—Penstock
চ্যুতি (ধ্বংস)—Fault
চ্যুতিতল—Fault plane
চ্যুতিমণ্ডল—Fault zone
চুণাপাথর—Limestone
চূর্ণীভূত—Pulverised
চেতনাশক্তি—Sensibility
চোক্লা—Scales

ছিন্নকরণ শক্তি—Shear force
ছোট বাঁধ—Weir

জলক্ষরণের পথ—Piping
জলপীঠ Water table
জলবাহী স্তর—Aquifer
জলবিজ্ঞান—Hydrology
জলবিদ্যুৎশক্তি—Hydro-electricity
জল বিভাজিকা—Watershed
জল বৈজ্ঞানিক—Hydrologist
জল সংমিশ্রণ (চুণের সহিত)—Slake
জলহাওয়া—Weather
জলাভূমি এলাকা—Submerged area
জিওটেক্নিক—Geotechnique

টান—Strain
টারবাইন্—Turbine
ঢাল-অবক্রম—Slope gradient

তত্ত্বীয়—Theoretical
তড়িদ্ দ্বার—Electrode
তির্যক—Oblique
তির্যকচ্ছেদ—Cross-section
তীব্রতা—Intensity
তেপায়া—Tripod
ত্বচ—Lamina
ত্বচিত—Laminated

দমন শক্তি—Damping force
দিকরেখা—Alignment
দৃঢ়সংবদ্ধ—Compact
দৃঢ়ীভবন—Consolidation
দোলন—Oscillation
দ্রবণ—Dissolve
দ্রবণ প্রণালী—Solution channel
দ্রাঘিত—Elongated

ধাতুমল—Slag
ধারক প্রাচীর—Retaining wall

নতি—Dip
নদীর চড়া—Shoal
নমিত—Dipping (sloping)
নালা (নালী)—Trench
নিজস্ব গণ্ডী—Zone of influence
নির্দিষ্টবিধি (সূত্র)—Formula
নিবদ্ধী (কেলাসী)—Crystalline
নিমজ্জিত রন্ধ্র—Sink hole

নিম্নভাগ (তলদেশ)—Base
নিশ্ছিদ্র—Impervious
নিশ্ছিদ্র শিলাস্তর—Aquiclude
নিষ্ক্রমণ—Spilling
নিষ্ক্রমণ পথ (নিষ্কাশন পথ)—Spillway
নিয়ন্ত্রণকারী দেওয়াল—Training wall
নিঃস্রাব—Run-off (Discharge)

পট্টযুক্ত শিষ্ট—Platy schist
পত্রায়ণ—Foliation
পথ—Chute
পরিকল্পনা (অনুপ্রস্থিকা মানচিত্র)—Plan
পরিগ্রহণ ক্ষেত্র—Intake area
পরিগ্রহণ পথ (প্রবেশ পথ)—Intake tunnel
পরিবাহ ক্ষেত্র—Catchment area
পরিমিতি—Measurement
পরীক্ষা কূপ—Test pit
পরীক্ষা কোষ্ঠসমূহ—Examination galleries
পরীক্ষামূলক সুড়ঙ্গ—Pilot drift
পলন (অবক্ষেপ)—Sediment
পলিমাটি—Silt
পলিশিলা—Siltstone
পাতালিক (ভূনিম্ন)—Subsurface
পাদশীলা—Bed rock
পারগম্য—Pervious
পাললিক—Sedimentary
পাললিক পঙ্ক—Alluvial fan

পার্শ্ব দৃশ্য (পার্শ্বিক)—Profile
পীড়ন—Stress
পুনঃপূরণ—Recharge
পূরক—Fill
প্রকেলাসিত—Porphyritic
প্রক্ষেপ—Projection
প্রচ্ছন্ন জলপ্রণালী—Buried channel
প্রতিক্রিয়া (বিক্রিয়া)—Reaction
প্রতিক্ষেপ—Rebound
প্রতিরূপ—Model
প্রতিসম—Symmetrical
প্রতিসরণ—Refraction
প্রযুক্তি সম্পর্কীয় ভূবিদ্যা—Engineering Geology
প্রবিষ্ট—Intruded
প্রবেশ্য—Permeable
প্রবেশ্যতা—Permeability
প্রসার্য পীড়ন—Tensile stress
প্রস্তর খণ্ড—Rubble
প্লাবন ভূমি—Flood-plain

ফাটপূর্ণ করণ—Grouting
ফাটল—Crack

বক্রভাবাপন্ন—Meandering
বর্তন যন্ত্র—Roller
ব-দ্বীপ—Delta
বনস্থাপনা—Afforestation
বন্যানিয়ন্ত্রণ—Flood Control
বহির্বাহী—Effluent
বহুমুখী—Multipurpose

বালুভরাটকরণ—Sandstowing
বালুশিলা—Sandstone
বাষ্পীভবন (বাষ্পীকরণ)—Evaporation
বাস্তুবিদ—Engineer
বায়ুচালিত—Pneumatic
বিক্ষেপ—Deflection
বিচ্ছিন্নকারী দেওয়াল—Cut-off-wall
বিচ্ছিন্ন জলতল—Piezometric surface
বিচ্ছুরিত—Radial
বিদার্যতাময়—Fissile
বিদার—Fissure
বিদাহী—Caustic
বিদ্যুৎ-উৎপাদন কেন্দ্র—Power House
বিদ্রাবন—Smelting
বিনির্দেশ—Specification
বিশরণ—Disintegration
বিশরিত—Disintegrated
বিশীর্ণ (বিচূর্ণীভূত)—Weathered
বিস্তর—Band
বিস্থাপন (স্থানচ্যুতি)—Displacement
বিয়োজন—Decomposition
বৃহদাকার প্রস্তর টুকরা—Dimension stone
বেদী—Terrace
বেধ (গভীরতা)—Depth
বেড়—Rim
ব্যবধায়কপর্দা—Diaphragm
ব্যবধি—Heave

ভগ্নাংশ—Talus
ভগ্নপ্রস্তর ও মাটীসমূহ—Muck
ভঙ্গ (ফাটল)—Fracture
ভূ-আকৃতি—Geomorphic pattern
ভূকম্পবিদ্যা—Seismology
ভূ-কম্পীয়—Seismic
ভূকম্পীয় তরঙ্গ প্রবাহ গ্রাহক—Geophone
ভূকম্প লেখক-যন্ত্র—Seismograph
ভূছিদ্র—Drill hole
ভূছিদ্রকর্তিত বস্তুর পরিচিতি—Drill core log
ভূছিদ্রকরণ—Drilling
ভূজল—Ground water
ভূজলবিজ্ঞানসম্মত—Geohydrological
ভূতত্ত্ব (ভূবিদ্যা)—Geology
ভূ-তরঙ্গ—Earth-waves
ভূতাত্ত্বিক—Geological
ভূ-পদার্থিক—Geophysical
ভূবিজ্ঞান—Earth sciences
ভূমিবৃত্তিক—Physiographic
ভূমিসোপান—Benches
ভূস্খলন—Landslide
ভেদস্তর—Parting
ভৌতিক (প্রাকৃতিক)—Physical
ভাঁজ (বলি)—Fold
ভাঁজবাহু—Fold limb

মধ্যস্থলী—Interstitial

মার্জন—Scour
মাটির বাঁধ—Embankment
মাধ্যম—Medium
মসুর—Lenticular
মৃত্তিকাচ্ছাদন—Soil cap
মৃন্ময়—Argillaceous
মুদ্গর (মুগুর)—Sledge hammer
মোটাদানাবিশিষ্ট—Coarse-grained

যন্ত্রী—Shear
যন্ত্রীশক্তি—Shearing strength
যোগবাহু—Abutment

রন্ধ্রাবকাশ—Pore-space
রূপান্তরিত (পরিবর্তিত)
Metamorphic

শিলাপট্ট—Rock slab
শিলাপৃষ্ঠ—Rock surface
শিলাবীক্ষণিক—Petrographical
শিলাসমূহের একীকরণ—Monolith
শিলাসংস্তর—Rock bed
শীর্ষস্থান—Crest
শেল—Shale

সপাভিকা—Bench mark
সন্ধি (সম্ভেদ)—Joint
সমরূপতা (সমভাব)—Uniformity
সমসত্ত্ব—Homogeneous
সমসারক—Isotropic
সমান্তরাল—Parallel
সমুদ্রপৃষ্ঠ—Sea level
সম্ভেদ—Cleavage
সমোচ্চ রেখা—Contour line
সমোন্নতি রেখা—Contour line
সমোন্নতি রেখান্তর—Contour interval
সরন্ধ্রতা—Porosity
সংকোচন প্রতিরোধশক্তি—Compressive strength
সংকোচনশীল—Compressible
সংঘটন—Composition
সংপৃক্ত—Saturate
সংপৃক্তি মণ্ডল—Zone of saturation
সংযোগ—Contact
সংযোগ দেওয়াল—Key wall
সংশ্লেষণ—Cementation
সংসক্তি—Cohesion
সংস্তরায়ণ—Bedding
সাম্যাবস্থা (সমপরিস্থিতি)—Equilibrium
সান্দ্রতা—Viscosity
সাংযুতিক—Structural
সুঘটতা—Plasticity
সুজল—Fresh water
সুজলবাহী—Fresh water-bearing
সুড়ঙ্গ—Adit, Drift, Tunnel
সূক্ষ্মদানাবিশিষ্ট—Fine-grained
স্রপণ—Creep, Flow
সেচবাঁধ—Barrage
স্খলন—Slide
স্খলন পৃষ্ঠ—Slip surface
স্তম্ভ—Pier
স্তরপ্রবিষ্ট জল—Meteoric Water

স্তরবিশিষ্ট শিলা—Layered rock
স্তরানুগ্রথিত—Interbedded
স্তরায়ণ—Stratification
স্তরান্বিত—Stratified
স্থলাকৃতি—Topography
স্থায়িত্ব স্থিতিশীলতা)—Stability
স্থিতিমাপ—Parameter
স্থিতিস্থাপক—Elastic
স্থিতিস্থাপকতার মান—Modulus of Elasticity
স্থিতীয়—Static
স্রোত-স্তরায়ণ—Current-bedding
হিমজ মৃত্তিকা—Glacial clay
হিমবাহজাত—Glacial
হিমীভূত—Freezing

নির্দেশিকা